

GOBIERNO REGIONAL DE
ARICA Y PARINACOTA



PLAN REGIONAL DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL

ETAPA II

IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE RIESGOS NATURALES REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA



Elaborado por Unidad de Ordenamiento Territorial
División de Planificación y Desarrollo Económico

Patricia Araya Almonacid
Claudia Valderrama Venegas
Juan Worm Stari

2012

INDICE **PAGINA Nº**

I.- ANTECEDENTES GENERALES

1.- INTRODUCCION

El presente documento corresponde a la Etapa II de Riesgos Naturales del Plan Regional de Ordenamiento Territorial, PROT, elaborado por la Unidad de Ordenamiento Territorial de la División de Planificación del Gobierno Regional de Arica y Parinacota. El PROT viene a contextualizar en el Territorio la Estrategia de Desarrollo Regional (ERD), llevando la información mediante procesos de geo referenciación y el uso de herramientas digitales SIG a plasmar en mapas diversos antecedentes y datos relevantes de la región.

En este sentido, especial vinculación se da con la ERD en los objetivos de “Adaptar e Implementar Territorialmente el Conjunto de Políticas Sociales Estructurales que Generen una Clara Tendencia al Desarrollo Humano Colectivo e Individual”, el de “Constituir una Institucionalidad Pública Eficaz, Eficiente y Moderna que Cubra Todo el Territorio, y que Articulada con la Ciudadanía y el Sector Privado, Represente los Intereses de la Comunidad Regional” y la de “Propiciar la Ocupación Productiva Ordenada y Sustentables del la Región, Mediante la Convergencia Consensuada de Todos los Instrumentos de Planificación Territorial y la Promoción Ciudadana al Respeto Integral del Medio Ambiente”.

Para poder vislumbrar las amenazas que puedan afectar el Desarrollo de la Región, se ha procedido a realizar el presente estudio, con el apoyo de la Subsecretaria de Desarrollo Regional, que ha aportado el marco metodológico y una permanente guía durante el transcurso de esta investigación facilitando el contacto e intercambio de información con diferentes estamentos y especialistas. Se han considerado además lo establecido en el Plan Regulador Comunal de Arica en su Artículo 7 que define Zonas de Riesgo, para efectos del presente estudio de amenazas naturales se consideran las zonas ZP5 y ZP2 DE Remoción en Masa y de Inundación fluvial respectivamente. El Plan Regulador comunal de Putre, en etapa de estudio, establece en su Artículo 28 Macro Áreas entre las cuales en el punto “e” señala que se identifica con el código ZR y corresponden a las que se establecen en el Artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, estas áreas aún no han sido definidas en la planimetría. Por último también se ha considerado el Plan Regional de Desarrollo Urbano que se encuentra terminado y aprobado por el Consejo Regional, este instrumento analizó riesgos naturales considerando sismo, volcanes, deslizamientos aluvionales, tsunami, pero este análisis no llevo a conclusiones o recomendaciones en zonas determinadas en el documento final.

En este documento se entregan los resultados alcanzados en las etapas para su elaboración: como la recopilación de información en bibliografía y su retroalimentación con las instituciones públicas y privadas a quienes se agradece por su atención y aportes relevantes para el mejor desarrollo de este análisis.

Se identificaron y analizaron las amenazas naturales que están presentes en la región, definiendo riesgo como la probabilidad de ocurrencia de un evento con consecuencias negativas para las personas, sus bienes y el medio. De esta manera se identificaron las amenazas naturales en el espacio geográfico, se analiza el territorio donde se generan los fenómenos naturales, y las dinámicas que se producen en este mismo. Por otra parte se definieron los Sistemas Estratégicos instalados en la Región conforme al marco metodológico definido por la Subsecretaria de Desarrollo Regional, para poder relacionarlos con las

Amenazas Naturales. En consideración a la variación de estos sistemas estratégicos se considera un horizonte de 5 años para la revisión y actualización de este estudio.

A continuación se presenta un esquema del mapa conceptual de la organización de este estudio:

Figura Nº1: Esquema identificación de riesgos naturales y sistemas estratégicos



Fuente: Elaboración propia, 2011

El presente informe, permitirá incorporar a este instrumento de planificación y ordenamiento territorial información relacionada con los riesgos naturales, de la Región de Arica y Parinacota, insumo que autoridades y estamentos públicos podrán utilizar para orientar la toma de decisión en la región.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo General:

Identificación y análisis los riesgos derivados de las amenazas naturales presentes en la región de Arica y Parinacota.

Objetivos específicos:

* Identificar, caracterizar y geo-referenciar las amenazas/peligros de origen natural existentes en la región de Arica y Parinacota
* Identificar, caracterizar y geo-referenciar la distribución de la población, los sistemas, redes e instalaciones consideradas como estratégicas en el contexto regional
* Análisis de exposición de población, sistemas, redes e instalaciones las áreas de amenazas
* Análisis territorial de la vulnerabilidad actual y futura con sus implicancias para el ordenamiento territorial regional.

1.2 DEFINICIONES

El presente informe corresponde a la **Etapa II Riesgo Naturales**, de acuerdo a esto, debemos establecer algunas definiciones previas para el mejor entendimiento de este informe.

a) **Amenaza, Peligro o peligrosidad**: Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un área (lugar) dada.

b) **Amenaza Natural**: es un proceso o fenómeno natural que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

c) **Vulnerabilidad**: Es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso, expresada en una escala desde 0 a 1 o pérdida total. Son las características y las circunstancias de una comunidad, sistemas o bienes que lo hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza.

d) **Riesgo**: Combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Se define como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre, es decir el producto del riesgo específico, y los elementos en riesgo.

1.3 METODOLOGÍA

Se realizaron tres etapas para identificar y analizar los Riesgos Naturales en la Región, la primera basada en la recopilación de información, a través de la consulta de documentación previa existente (estudios, informes, documentos) sobre los rasgos del medio geográfico a analizar. Se determinan las **amenazas** naturales existentes en la región, se analiza el territorio donde se generan los fenómenos naturales, y las dinámicas que se producen en este mismo. Para esto se han revisado los estudios previos realizados en la región, antecedentes físicos,

sociales, históricos, diagnósticos, estadísticas y análisis realizados por instituciones públicas, privadas, académicas relevantes para el levantamiento de información. La información física (geológica, geomorfológica estructurante, climática) no presentan grandes variaciones en años, diferente es la información correspondiente a las dinámicas antrópicas, como los sistemas estratégicos, intervención en cuencas hídricas o geomorfología dinámica.

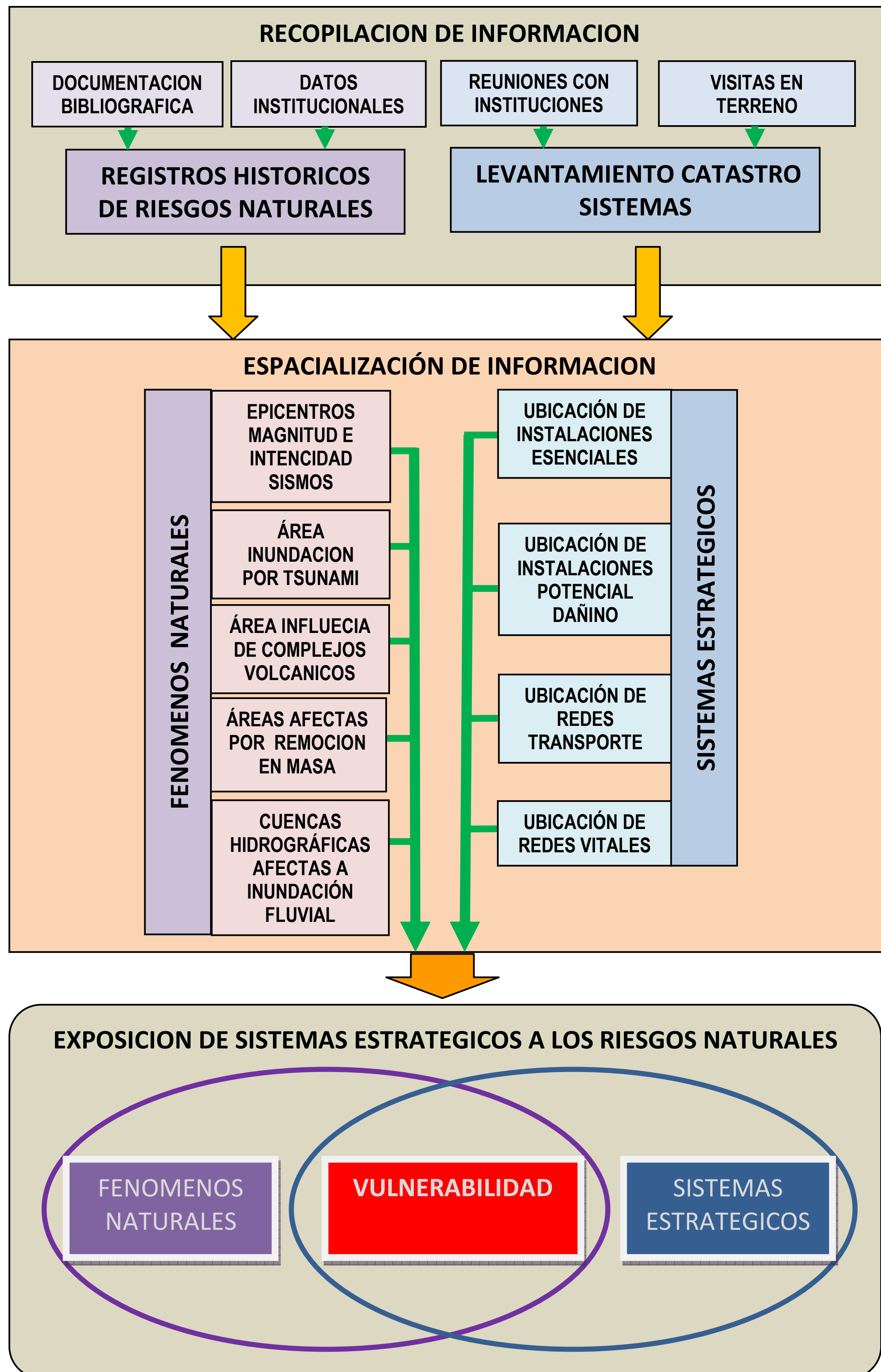
La confección del sistema de información geográfica del territorio de análisis incluye mapas de amenazas naturales prevalentes y mapa de exposición de sistemas estratégicos, para ello la herramienta que nos entregan los SIG, es de gran ayuda para poder interpretar y analizar la información geográfica, a través de la espacialización. Es importante considerar que estos sistemas, cuyo producto es un mapa o carta temática, proporciona base de datos y que son de utilidad para los estudios de amenazas e identificación de la vulnerabilidad, para determinar los riesgos naturales presentes en el territorio. Se considera la correcta utilización de estas coberturas, el Datum y la geo-referenciaciones.

La valoración inicial del grado de amenaza o peligro en la región a partir de análisis históricos de fenómenos naturales supone la consulta de datos de archivo e informes de daños durante un periodo de tiempo determinado. Los análisis de datos históricos nos entregan información respecto a eventos pasados, sus magnitudes, intensidades y alcances. El primer paso para el análisis a nivel regional es determinar que fenómenos naturales vamos a analizar, los datos históricos nos pueden entregar herramientas para aquello. Posteriormente, para el análisis de las amenazas los datos históricos nos arrojan antecedentes de gran valor en cuanto a elementos que son necesarios incorporar en el estudio. A su vez, los relatos que pueden entregar los habitantes de los territorios acerca de eventos pasados son incorporados en el estudio. Una vez identificados los fenómenos naturales, e incorporada la información en un SIG, se espacializan los datos y construyen mapas que identifican la posición de las amenazas generando zonas de alto peligro tanto para emplazamientos actuales como futuros, emplazamiento de población o sistemas de interés estratégico del estudio.

Estudios de realizados por diversos servicios públicos, han sido considerados como referencia oficial al estudio para reconocer las amenazas que afectan en el territorio y puedan condicionar su desarrollo futuro.

En el análisis del medio físico del territorio como espacio de riesgo toma en consideración aspectos de rango extraordinario de este medio, no todos los peligros o fenómenos naturales se determinaron y analizaron de la misma manera, a su vez no son los mismos elementos geográficos los que se utilizaron en cada uno de los estudios. Se consideraron parámetros que varían de un fenómeno a otro y la forma en que estos amenazan las actividades que se realizan en el territorio. Por lo mismo, la vulnerabilidad que se genera es distinta, dependiendo del tipo de amenaza analizada. Se ha tenido cuidado de no replicar esfuerzos y recursos, utilizando todos los estudios ya existentes, que puedan ser de utilidad para el objetivo final del trabajo. De esta manera para la realización de este informe solo se ha considerado información sectorial secundaria, no recopilando la de origen primario por no estar considerada en la metodología ni el marco presupuestario establecidos por la Subsecretaria de Desarrollo Regional. Por otra parte el equipo de trabajo establecido para realizar el análisis no cuenta con todas las competencias de las áreas especializadas de estudio, por lo cual se deja establecido que este estudio se limita a un análisis cuantitativo y de exposición de los sistemas estratégicos a las amenazas naturales, para determinar instalaciones o redes vulnerables en el territorio regional.

Figura Nº2: Esquema Metodología utilizada Etapa II de Riesgos Naturales



Fuente: Elaboración propia

Al delimitar territorios a partir del análisis de las variables precedentes ha sido posible elaborar una primera cartografía de espacios geográficos que se ven afectados por diversas amenazas. Una de las metodologías usadas es el manejo de sistemas de información geográfica la cual resulta particularmente útil para los análisis de riesgo por las enormes posibilidades de relación entre las capas de información. En la delimitación de territorios con riesgo se incluyó una graduación de zona con riesgo en cada uno de ellos; este aspecto se ha realizado con criterios cuantitativos, cualitativos, o resultantes de la combinación de ambos. Los datos analizados dicen relación con los recogidos en el análisis de amenazas, como en el análisis de vulnerabilidad, de ahí la importancia de las capas de información. A partir del trabajo realizado [22] en los sistemas de información geográfica con el cruce información de amenazas y vulnerabilidad por cada una de las amenazas se obtienen las áreas que se presentan con riesgos. La delimitación espacial del riesgo es una información de gran relevancia para los estudios territoriales, ya que no todos aquellos territorios que han sido afectados por fenómenos naturales son áreas de riesgo, muchas veces en ellos no existe vulnerabilidad, eso no significa que esas áreas no sean de importancia para la planificación, ya que se debe anticipar a que en ese territorio se puede generar o crear riesgo en el futuro.

RESUMEN DE ACTIVIDADES

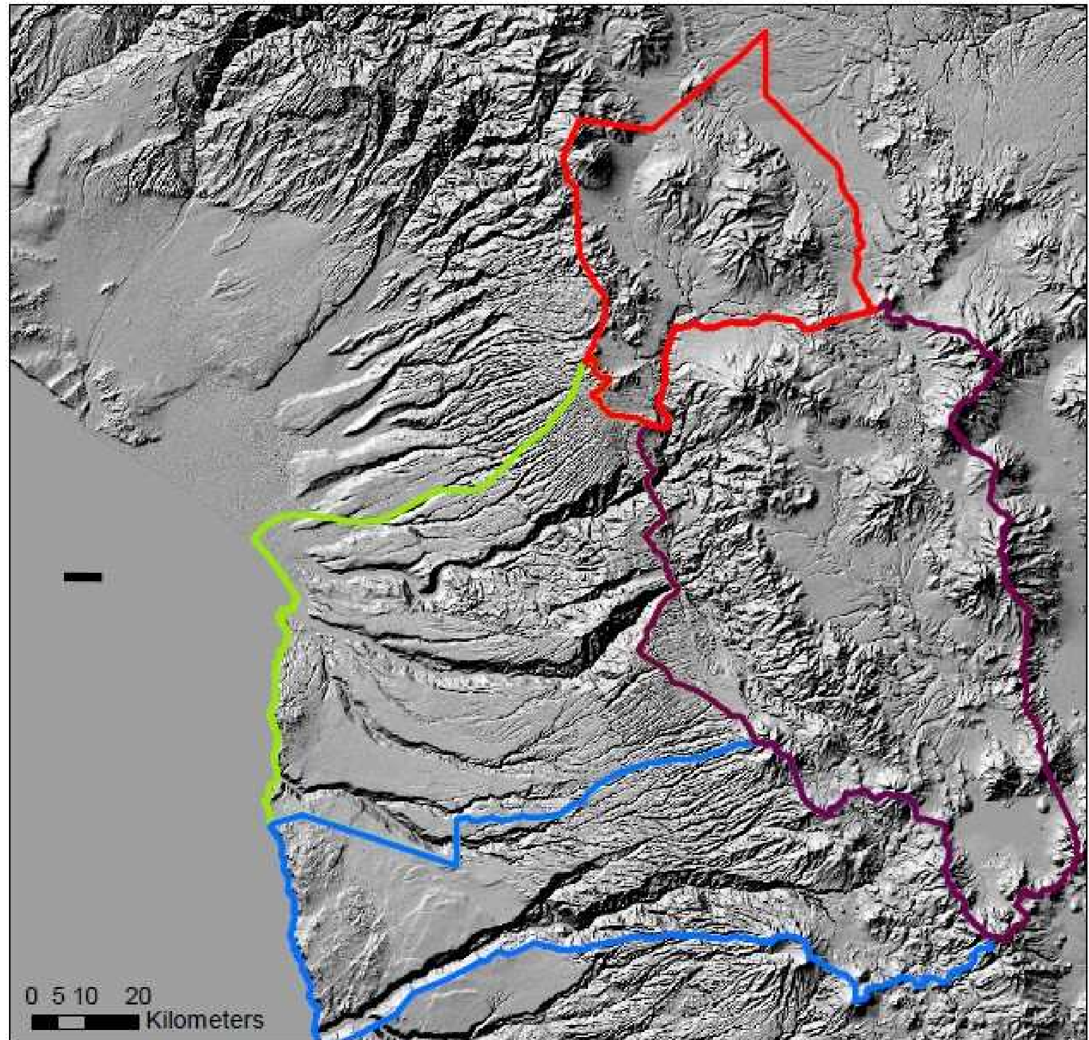
Para el levantamiento de información se ha contado con el valioso aporte por parte Servicios Públicos como Instituto Geográfico Militar, Instituto Nacional de Estadísticas, Servicio Nacional de Geología y Minería, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior, Dirección de Vialidad, Dirección Metereológica, Dirección de Obras Hidraúlicas, Dirección General de Aguas, Superintendencia de Electricidad y Combustibles, Seremi de Educación, Seremi de Vivienda y Urbanísmo, Seremi de Transportes y Telecomunicaciones, Servicio de Salud, Policía de Investigaciones, Carabineros y otros, como también de empresas privadas que entregan servicios sanitarios y energéticos. Además se ha contado con aportes de instituciones como la Universidad de Tarapacá y la Universidad Diego Portales.

1.4.- AREA DE ESTUDIO



El área de estudio corresponde a la XV Región de Arica y Parinacota, desde la línea de costa por el Oeste, por el Este limita con la República de Bolivia, por el Sur con la Región de Tarapacá y por el Norte con la República del Perú y su espacio aéreo. Geopolíticamente comprende el territorio de la Provincia de Arica con sus Comunas de Arica y Camarones, y la provincia de Parinacota con sus comunas de General Lagos y Putre, comprendiendo una superficie total de 16.873 km2. La población de esta Región, de acuerdo con los antecedentes del Censo de 2002, registra un total de 189.644 habitantes, lo que representa el 1,3% de la población nacional. La población urbana es de 176.676 habitantes correspondiente a la ciudad de Arica, y la población rural es de 12.968 hab., que en términos porcentuales equivale al 93% y el 7%, respectivamente (INE, 2002). A nivel

comunal se registra que la comuna de Arica concentra la mayor cantidad de población con el 97,75% del total regional, seguido de Putre con un 0,82%, Camarones con 0,78% y General Lagos con 0,65%.



En este marco de estudio se establecieron como Amenazas Naturales para las cuatro comunas de la Región: la Sismicidad, la Inundación por Tsunami, el Volcanismo, la Inundación Fluvial y la Remoción en Masa, determinando áreas donde exista vulnerabilidad de la población ante una Amenaza Natural y sus Sistemas Estratégicos, en cuanto a las Instalaciones Esenciales que comprenden Policía, Escuelas, Hospitales, Bomberos, Oficinas públicas; las Instalaciones con Alto Potencial de Daño que incluyen Instalaciones de Almacenamiento y producción de sustancias peligrosas, Acumulación de agua; las Redes de Transporte que consideran Vías carreteras, Puertos, Aeropuertos, Terminal de buses y Sistema Ferroviario; y las Redes Vitales consistentes en Sistema de agua, Sistema de alcantarillado, Sistema de combustibles, Sistema eléctrico y Sistema de comunicación.

II.- IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE AMENAZAS

2. ORIGEN DE AMENAZAS NATURALES

Las Amenazas Naturales son un conjunto de elementos y factores naturales que al interactuar entre sí, son "potencialmente peligrosos" cuando están asociados a una población y su medio construido. Los fenómenos naturales que no interactúan con la población y los sistemas construidos no se consideran amenaza, las características de amenaza, se definen como todos los fenómenos atmosféricos, geológicos, hidrológicos, que por sus características de ubicación, magnitud y frecuencia tienen el potencial de afectar al ser humano adversamente.

Para efectos del presente informe se abordarán las amenazas de origen Hidro-Meteorológico y las amenazas de origen Geológico, que tienen presencia histórica y relevante en la región, estas amenazas se manifiestan por medio de eventos extremos, dentro de las primeras se analizará la Inundación Fluvial, y de las del otro origen se analizará el Volcanismo, la Sismicidad, el Tsunami y la Remoción en Masa.

2.1 AMENAZA SISMICA

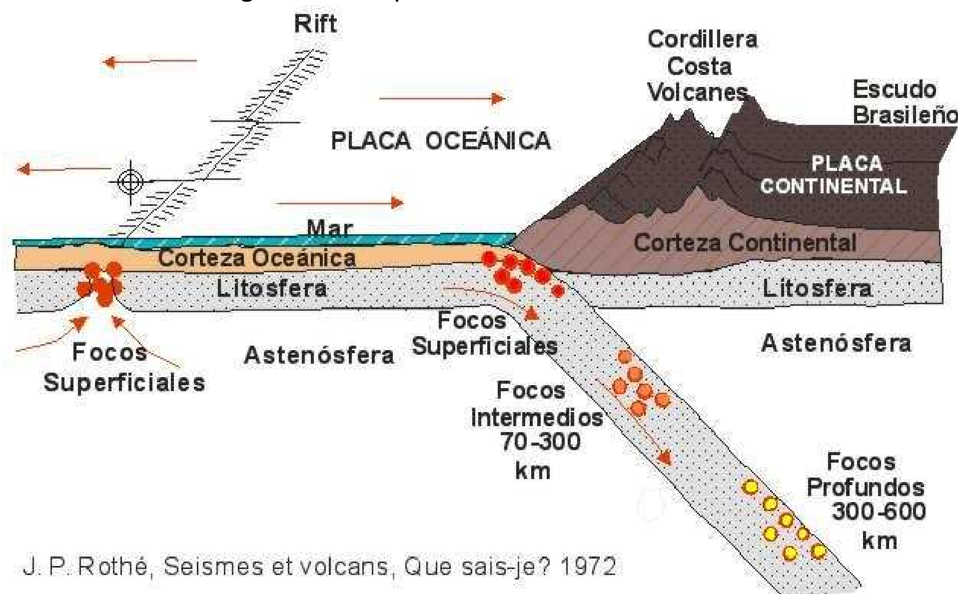
2.1.1 Información General

Origenes de los Sismos:

Los sismos pueden ser generados principalmente por actividades volcánicas y tectónicas, aunque pueden existir otros factores, que los originen, como los desprendimientos de rocas, que son a nivel más local. En Chile, el movimiento de las placas tectónicas es el principal responsable de los sismos y terremotos, debido a que nuestro país se localiza sobre el margen de subducción entre las placas de Nazca y la placa Sudamericana. Ambas placas se encuentran en constante movimiento, teniendo una velocidad del orden de 10 centímetros por año; el desplazamiento de la Placa de Nazca es en dirección oeste – este, mientras que el desplazamiento de la Placa Sudamericana es a la inversa, esta situación conjuntamente con la composición de cada placa, genera una convergencia de las mismas, donde la placa de Nazca, al ser más densa, se introduce por debajo de la Placa Sudamericana, la que es menos densa por tener una composición granítica, mientras que la Placa de Nazca presenta una composición basáltica.

Respeto a la subducción y la generación de terremotos, se distinguen tres tipos de terremotos, los superficiales, los intermedios y profundos, (Ver Figura N°3); los primeros se producen cerca de la fosa oceánica, mientras que los profundos se producen tierra adentro. Existen registros que indican que los terremotos superficiales han alcanzado magnitudes Richter de 8,6°, que los terremotos de profundidad intermedia no superan los 7,5°, mientras que los terremotos de gran profundidad no sobrepasan los 6,9° Richter.

Figura N°3: Esquema de Profundidad Sismos



Fuente: http://blog-petrolero.blogspot.com/2009/12/sismicidad-en-el-mundo.html

Por lo tanto, la subducción es la principal causa de los sismos y fuertes terremotos que han afectado el territorio chileno. Dentro del contexto de la tectónica de placas, los bordes de placas afectados por la subducción reciben el nombre de “Bordes Destructivos”, debido a que en ellos es donde se produce la fusión de la corteza. Esta fusión permite que la corteza oceánica se funda, formando el magma, el cual genera cadenas volcánicas, como es el caso de los volcanes ubicados dentro de la Cordillera de los Andes.

En definitiva, Chile, al estar situado sobre una subducción, siempre tendrá la presencia de sismos de diversa intensidad, los que muchas veces han generado daños estructurales importantes, ya sea en la infraestructura del país, como también en el bienestar de los habitantes.

Los sismos usualmente se evalúan de acuerdo a la magnitud e intensidad de estos. Mientras la **magnitud** mide la **cantidad de energía** liberada en el lugar de origen, mide la energía liberada en el foco o hipocentro, que es aquella zona del interior de la tierra donde se inicia la fractura o ruptura de las rocas, las que se propagan mediante ondas sísmicas, la **intensidad** corresponde al **efecto aparente** que un sismo tiene en un determinado lugar, con esta última medida se puede obtener la severidad del terremoto. Para medir la **magnitud** la medida usual es la escala **Richter**, esta es una escala estrictamente cuantitativa que mide las amplitudes de las ondas registradas por un sismógrafo, tiene una aplicación para sismos superficiales y relativamente cercanos. Por otro lado, la escala más utilizada para la medición de **intensidad** es la escala de **Mercalli** modificada, donde la intensidad es evaluada subjetivamente en base a la descripción de los daños.

Para efectos del presente estudio, en virtud de la consideración al enfoque de vulnerabilidad, se tendrán en consideración aquellos sismos de Magnitud Richter 7 o superior, ya que pueden presentar efectos considerados en las Intensidades Mercalli VI o superior dependiendo de su ubicación y profundidad. Los de menor magnitud no provocan graves daños, por lo que se considerará para efectos de este informe que no inciden en la vulnerabilidad de la población y los sistemas estratégicos.

Figura N°4: Esquema de Fractura de Corteza



Fuente: http://astur-diver.blogspot.com/p/biologia.html

Por lo tanto ante el enfoque de riesgo de este estudio, en que se define este como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre, se procederá a definir las zonas más susceptibles a sufrir los efectos de los sismos.

Amenaza sísmica dentro de la Planificación Territorial

Si bien las políticas existentes dentro del país, intentan generar una optima planificación del territorio, ya sea con la finalidad de organizar, armonizar y administrar la ocupación y uso del territorio, dichos esfuerzos muchas veces se ven superados por la fuerza de la naturaleza, como lo es la ocurrencia de sismos, los que según su localización, profundidad, magnitud e intensidad, pueden causar múltiples destrozos. En la región de Arica y Parinacota, la actividad sísmica es un tema presente dentro de las políticas de planificación territorial, al igual como se produce en todo el país, ya que con este instrumento, se intenta disminuir el riesgo al que puede estar expuesta la población inserta en el territorio.

La actividad sísmica de la región de Arica y Parinacota, genera una vulnerabilidad en todos los sistemas estratégicos y en los habitantes de la región, ya que todos los componentes del territorio están expuesto a la amenaza sísmica, algunos pueden ser más afectados que otro, pero esta situación principalmente depende de la localización del sismo y su magnitud, como por ejemplo, las localidades rurales de la región ante un sismo de magnitud significativa, puede presentar mayor vulnerabilidad, en su infraestructura, debido a que todavía es posible encontrar viviendas construidas de adobe. Dentro de este mismo contexto se debe señalar que el país ha instaurado políticas de construcción, con la finalidad de disminuir el riesgo, ante un movimiento sísmico, el cual contempla análisis de suelo, formas estructurales y la utilización que tendrá la futura construcción, estos parámetros se encuentran inmersos dentro de la norma Nch 433 of. 72, pero posterior al gran terremoto de febrero de 2010, esta norma fue reemplazada por la Nch 433 of. 96, la cual divide al territorio según su grado de sismicidad.

Por lo tanto, todos los sistemas e instalaciones, presentes en la región son vulnerables ante la actividad sísmica, pero el riesgo que presenta cada sistema estratégico y asentamiento humano, está condicionado a la magnitud del sismo, a la localización, al día y hora en que

dicho evento pueda ocurrir, ya que dependiendo de estos factores se obtiene el resultado de dicha amenaza. Por ejemplo, un sismo de magnitud importante ocurrido en periodo normal del año escolar, puede traer consigo efectos secundarios al sismo, como la desesperación de padres y apoderados por retirar a sus hijos y/o familiares de los establecimientos educacionales.

Amenaza Sísmica en la Región de Arica y Parinacota

La región de Arica y Parinacota, se encuentra afecta a amenaza sísmica, debido a que se ubica sobre el borde de subducción, entre la placa de Nazca y la Placa Sudamericana. Esta región durante los últimos siglos ha sido frecuentemente afectada por sismos, los que también han sido capaces de producir algunas remociones en masa y tsunamis.

La sismicidad de esta gran zona no es homogénea como se puede apreciar en los registros del Centro Sismológico de la Universidad de Tarapacá, que más adelante se exponen, por otra parte, estos mismos registros nos permiten visualizar la existencia de una brecha sísmica, lo cual se entiende como una zona de baja actividad sísmica entre dos zonas de "enjambres" de sismos, esto supone un alto potencial de ocurrencia de un evento sísmico destructor en la zona de la brecha.

La existencia de una zona sísmica doble. Bajo el Codo de Arica o curva del continente, existe una zona sísmica doble, la que se entiende como un "plano doble" de Benioff – Wadati (Arias, 1998 y Tapia, 2000), esto se puede explicar como una capa intermedia entre la placa superficial y la inferior. Esta doble zona sísmica es una particularidad de la región, ya que ni para el sector norte y sur de Arica se da dicho fenómeno. Una de las características de esta zona sísmica doble, es que permitiría un menor acoplamiento sísmico interplaca, en la profundidad intermedia y abisal. Por lo tanto, el Codo de Arica, representa una barrera geométrica importante, ya que ha detenido el avance de la ruptura de sismos mayores en el pasado (Arias, 1998; y Tapia 2000).

Zonificación Sísmica

Para determinar una zonificación sísmica se ha tomado los antecedentes aportados por el Proyecto Fondef D10I1027 "Desarrollo de plataforma de amenaza sísmica para el norte de Chile y propuesta de actualización de normas de diseño sismo-resistente: Análisis de los efectos del terremoto del Maule 2010 y caracterización de terremotos tipo en el segmento Taltal-Arica", el cual ha sido aportado por su autor Felipe Leyton experto de la Universidad Diego Portales.

Este estudio establece que la zonificación se basará en una estimación del Peligro Sísmico Probabilístico para un período de retorno de 475 años, esto es, la determinación de la aceleración horizontal máxima (PGA) para con un 10% de probabilidad de ser excedida en 50 años.

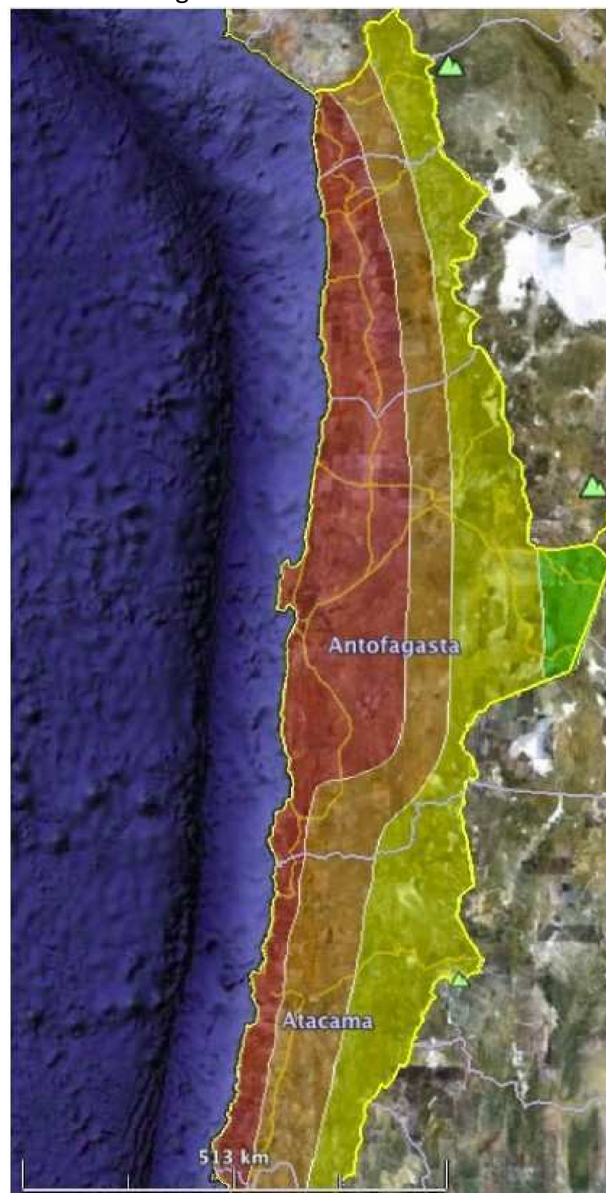
El estudio de Leyton reconoce que la colisión de las placas de Nazca y Sudamericana es responsable de la alta sismicidad existente en la zona de estudio, también aclara que hay diferentes tipos de sismo según su origen, los cuales son: a) Interplaca tipo Thrust, estos sismos se producen en el contacto entre las placas y se caracterizan por ocurrir en la zona costera; b) Intraplaca de profundidad intermedia, ocurren en la placa de Nazca con epicentros bajo el continente; c) Corticales, son más superficiales, se producen en la placa continental sudamericana; d) Outer-Rise, ocurren en la placa de Nazca antes de entrar en contacto con la placa Sudamericana, y son de magnitudes moderadas y distantes, por lo que se consideran no

relevantes. Ese estudio delimita su ámbito a los sismos definidos en la letra a) y b), los tipo c) no han sido considerados por requerir mayores estudios y los d) se descartaron por lo expresado previamente.

Mediante una estimación probabilística, Leyton determina para un periodo de 475 años, cuatro zonas que se definen en los siguientes niveles:

- Zona de Demanda Sísmica Muy Alta: PGA ≥ 0.8 g
- Zona de Demanda Sísmica Alta: 0.8 g ≥ PGA > 0.6 g
- Zona de Demanda Sísmica Media: 0.6 g ≥ PGA > 0.4 g
- Zona de Demanda Sísmica Baja: PGA ≤ 0.4 g

Figura N°5: Zonificación Sísmica



Fuente: "Desarrollo de plataforma de amenaza sísmica para el norte de Chile y propuesta de actualización de normas de diseño sismo-resistente: Análisis de los efectos del terremoto del Maule 2010 y caracterización de terremotos tipo en el segmento Taltal-Arica", Felipe Leyton

Como se puede apreciar en la figura precedente, la Región de Arica y Parinacota se ve afectada por tres de las Zonas de Demanda Sísmica, que corren en sentido norte sur, quedando excluida la de Demanda Sísmica Baja que queda fuera del territorio nacional. Esta zonificación a grandes rasgos se asocia con los componentes geográficos de la región, la de Muy Alta Demanda afecta al borde costero y las Pampas, la de Alta Demanda a la precordillera o contrafuertes cordilleranos y donde además se concentra la mayor cantidad de fallas geológicas, por último la de Mediana Demanda se ubica en la zona de Altiplano.

Fallas y Pliegues

La falla geológica es una discontinuidad física de la roca, son dos bloques de roca que se desplazan uno en relación al otro. Existen fallas "pequeñas" y otras que pueden atravesar un continente. Las fallas pueden generar sismos de diversa magnitud, dependiendo de la profundidad y la cantidad de movimiento. Las fallas se ubican especialmente en los territorios que están al borde de una placa, estos sectores generalmente presentan muchas fallas debido a la fuerza constante a la que está sometida la corteza, fenómeno que la obliga a quebrarse o deformarse permanentemente.

Las zonas de rupturas generalmente tienen un área bien delimitada, por lo que se considera que las rocas superficiales están ubicadas hasta 200 kilómetros bajo tierra, siendo estos bloques, los que componen las fallas.

Las fallas geológicas pueden ser activas, potencialmente activas o inactivas. Una falla es activa cuando evidencia movimientos en los últimos 1,8 millones de años. Al año, lo normal, es que las fallas se muevan a una velocidad de entre 4 milímetros y 2,5 centímetros, pero existen registros, en los que se afirma que los sismos más grandes provocados por fallas, han originado desplazamientos de hasta 12 metros. Por otro lado, las fallas inactivas son de eras geológicas pasadas y consideradas como estructuras fósiles.

En Chile, los especialistas identifican tres grandes sistemas de fallas, el de Atacama, el de Magallanes y Liquiñe – Ofqui. La región de Arica y Parinacota se encuentra ubicada en el sector del sistema de fallas de Atacama.

En el conjunto de los sistemas se puede observar que la zona norte del país muestra un número mayor de fallas dentro del territorio nacional, pero cabe destacar que la visibilidad e identificación de dichas fallas es más favorable en este sector por tratarse de una zona desértica, mientras que para el centro – sur del país, la identificación es más imprecisa por la cobertura del suelo, por lo que no se puede afirmar que en Norte del país existen más fallas que para el resto del territorio chileno.

Para el caso de la Región de Arica y Parinacota, en base a antecedentes aportados por Sernageomin, es posible observar en la figura N°, fallas (color magenta) y pliegues (color azul) que existen en la región, la información disponible entregada por esa institución no incluye datos de la comuna de General Lagos. Se destaca que el sector urbano de la región, correspondiente a la ciudad de Arica no presenta fallas ni pliegues.

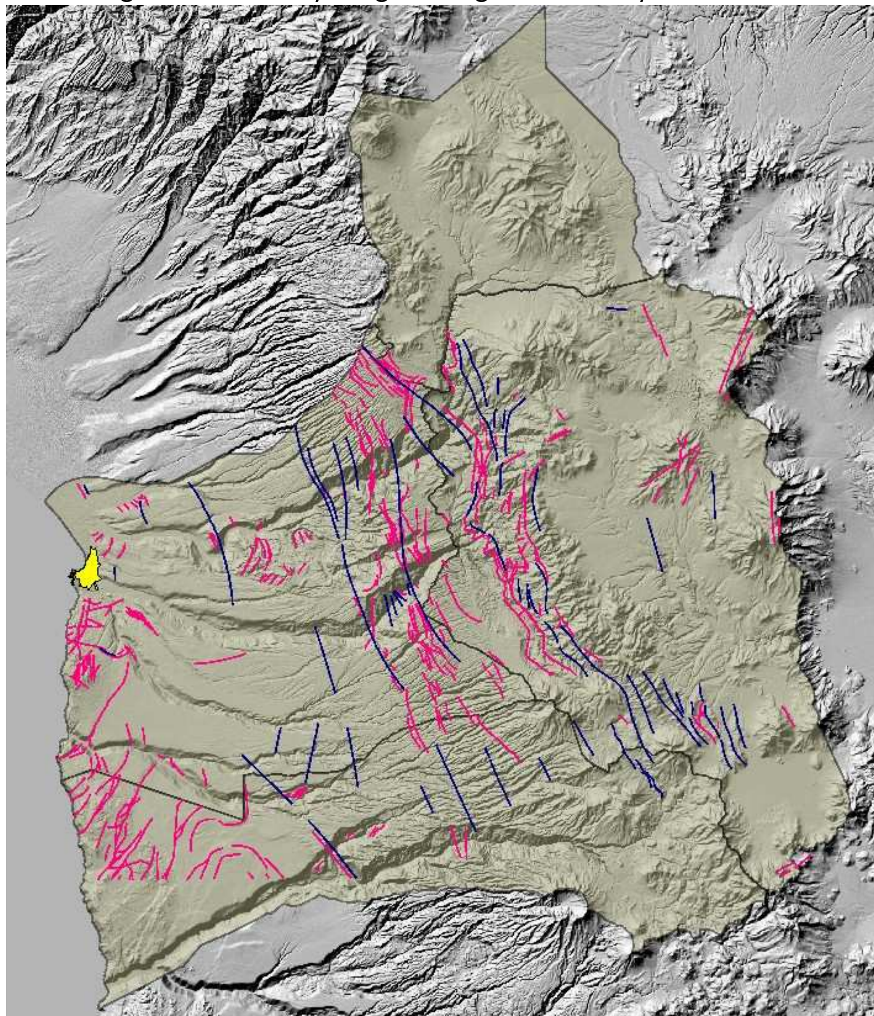
Se puede apreciar en la misma figura, que las fallas se encuentra más concentradas en los sistemas de contrafuertes de cordillera, pre-cordillera y farellón costero, y también se aprecia que tienen una orientación en el sentido sur-norte, además se puede notar unas concentraciones menores de fallas en el sector Pampa Camarones y otras en el sector Cuesta del Águila, también se puede hacer notar que se presentan fallas en los complejos volcánicos.

Los pliegues son más escasos y se presentan en los mismo sectores que las fallas, excepto en el farellón costero.

Como se mencionó al inicio de este acápite, las fallas geológicas pueden generar sismos, revisando la actividad sismológica registrada por el Centro Sismológico de la Universidad de Tarapacá, se puede apreciar que la mayor recurrencia sísmica de la región se da en la zona de contrafuertes cordilleranos (Anticlinal Oxaya, anticlinal Huaylillas) y la pre cordillera, donde también se presenta gran cantidad de fallas destacándose entre las localidades de Copaquilla y Tignamar.



Figura N°6: Fallas y Pliegues. Región de Arica y Parinacota



Fuente: Elaboración Propia, basado en datos de Sernageomin

2.1.2 Antecedentes Históricos de Grandes Sismos en la Región

Como se mencionó anteriormente, Chile es un país sísmico que ha tenido que enfrentar durante toda su historia terremotos y tsunamis. El Norte del país no ha estado ajeno a estos movimientos tectónicos, ya que históricamente ha sido afectado por grandes terremotos y tsunamis. En el siguiente cuadro se observan los sismos más importantes detectados en la región desde el año 1570 al 2005 desde la Lat 18,5 hasta la 19,0 y desde la Long 70,0 hasta la 71,0, posteriormente una breve reseña de algunos de estos sismos más relevantes que han afectado la región.

Cuadro N°1: Tabla Sismos importantes y/o destructivos (desde 1570 al 2005)
(Magnitud Ms mayor o igual a 7.0)

Fecha	Hora	Lat	Lon	Ms	Prof	Mw	Efec.Sec
24-11-1604	12:30	-18.500	-70.400	8.5	30	-	TD
16-09-1615	23:30	-18.500	-70.350	8.8	-	-	TM
10-03-1681	-	-18.500	-70.350	7.3	-	-	-
08-10-1831	6:00	-18.500	-71.000	7.8	-	-	-
18-09-1833	5:45	-18.500	-70.400	7.7	60	-	-
13-08-1868	16:45	-18.500	-70.350	8.5	-	-	TD
08-01-1956	16:54	-19.000	-70.000	7.1	11	-	-
08-08-1987	11:48	-19.000	-70.000	7.1	42	-	-

Fuente: GUC - NEIC http://ssn.dgf.uchile.cl/seismo.html

Notas:
Los grandes terremotos chilenos con epicentros costeros, dan generalmente origen a Tsunamis moderados o mayores.
Fecha y Hora son locales
Ms = Magnitud Richter determinada con ondas sísmicas superficiales
Mw = Magnitud a partir del momento sísmico
TM = Tsunami Moderado
TD = Tsunami Detructivo
(-) = Sin Información

Reseña de Terremotos que Afectaron la Región

Terremoto del 24 de Noviembre de 1604: Según los registros existentes, este terremoto, fue uno de los más grandes que afectó a América en época moderna. Este terremoto se localizó frente a las costas de Arica y tuvo una magnitud aproximada de **8,5°** Richter; dicho fenómeno fue seguido de gran un maremoto, cuyos registros indican la existencia de olas de 16 metros, con unos 10 km. de inundación.

Terremoto del 16 de septiembre de 1615: Este terremoto, fue registrado a la 23:30 hrs. con una magnitud de **8.8°** Richter, el que presentó un tsunami moderado.
Según los registros, este evento significó una gran destrucción para la ciudad de Arica, destruyendo la mayoría de las construcciones, sin embargo no se reportaron víctimas fatales (URRUTIA y LANZA, 1993).
Este sismo según SISRA (Sistema de Información Sísmica Regional de América) Perú, se produjo en las coordenadas 18.25° S, 71.00° W y a 40 kilómetros de profundidad, en cambio para SISRA Chile se habría producido en los 18.50° S, 70.35° W. La magnitud del evento es de **M = 7,5** calculada por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. En ninguno de los

catálogos mencionados hay información sobre un tsunami asociado al movimiento, pero otros datos aportados por LOCKRIDGE, (1985), en COMTE, et al., (1988), hablan de un importante tsunami, menor que el de 1604.
Inconsistencias en los datos llevaron a COMTE, (1988), a relocalizar el epicentro de éste evento hacia el sur, a coordenadas aproximadas a las del terremoto de 1877: 19.50° S, 70.50° W, con una profundidad de foco superficial, entre 10 y 20 kilómetros. De este modo, indica que sobre la base de las intensidades reportadas, la magnitud que le correspondería sería de **M = 8,0**, lo que explicaría bien el tsunami generado, los daños reportados en Arica y Tacna y el hecho de que ninguna otra ciudad al norte de Tacna hubiese entregado información adicional de este evento, considerando que el catálogo de intensidades del Perú es muy completo (COMTE, et al., 1988).

Terremoto del 10 de Marzo de 1681: Según los registros del centro sismológico de la Universidad de Tarapacá, este terremoto presentó una magnitud aproximada entre **7 y 7,5° Richter**, con un tsunami que no ocasionó daños.

Terremoto del 13 de agosto de 1868: Este terremoto se registró a las 16:45 hrs. con una magnitud de **8,5° Richter**. Dicho sismo originó un tsunami destructor, cuyas olas alcanzaron los 18 metros de altura, situación que generó un gran daño en la ciudad. Como consecuencia del terremoto y tsunami se registraron alrededor de trescientos muertos y cuantiosos daños.

Terremoto del 9 de mayo de 1877: Nueve años después del terremoto de 1868, la ciudad de Arica fue nuevamente azotada por un gran terremoto y posterior tsunami. La magnitud de dicho terremoto fue de **8,5° Richter** y las olas del tsunami alcanzaron unos 20 metros de altura. Con este terremoto se registraron grandes marejadas en otras partes del país como Antofagasta, ciudad que fue inundada por varias horas por grandes olas, generando grandes daños, pero sin registrarse victimas. Puerto Montt y Ancud también fueron testigos de las marejadas que se produjeron a causa de este terremoto. Este gran sismo no solo dejo vestigios en Chile, ya que también hubo repercusiones en Australia, Nueva Zelandia y Japón.

Terremoto del 8 de agosto de 1987: Si bien este sismo tuvo su epicentro en la actual región de Tarapacá, no dejo ajena a la región de Arica y Parinacota, ya que la magnitud de dicho sismo alcanzó los **7,2° Richter**. Este terremoto fue percibido desde Moquegua, Perú, hasta la Serena en Chile y en la ciudad de Arica removió algunas edificaciones y partes del Morro de Arica, las que colapsaron para el terremoto del año 2005.

Terremoto del 13 de junio de 2005: Este terremoto fue registrado a las 18:44 hrs, con una magnitud de **7,8°** en la escala de **Richter**. El fuerte sismo se sintió en gran parte de las regiones del norte grande del país y tuvo su epicentro en la región de Tarapacá en las cercanías de la frontera con Bolivia. Dicho terremoto afectó principalmente a las localidades rurales de las regiones de Tarapacá y Arica y Parinacota, en la ciudad de Arica, se produjeron desprendimiento de rocas del Morro de Arica, los que superaron las 400 toneladas de material caído, a pesar de esto, no hubo daños a los habitantes de la ciudad.

Registro de Sismos en la Región

El centro sismológico de la Universidad de Tarapacá, presenta los diversos sismos registrados en la región de Arica y Parinacota, desde el año 2000 al 2011. En los mapas presentados a continuación se visualizan puntos blancos, los que indican los epicentros de sismos no perceptibles por la población, los circulos indican los sismos que son perceptibles y una estrella blanca, indicando el último sismo registrado el año correspondiente.

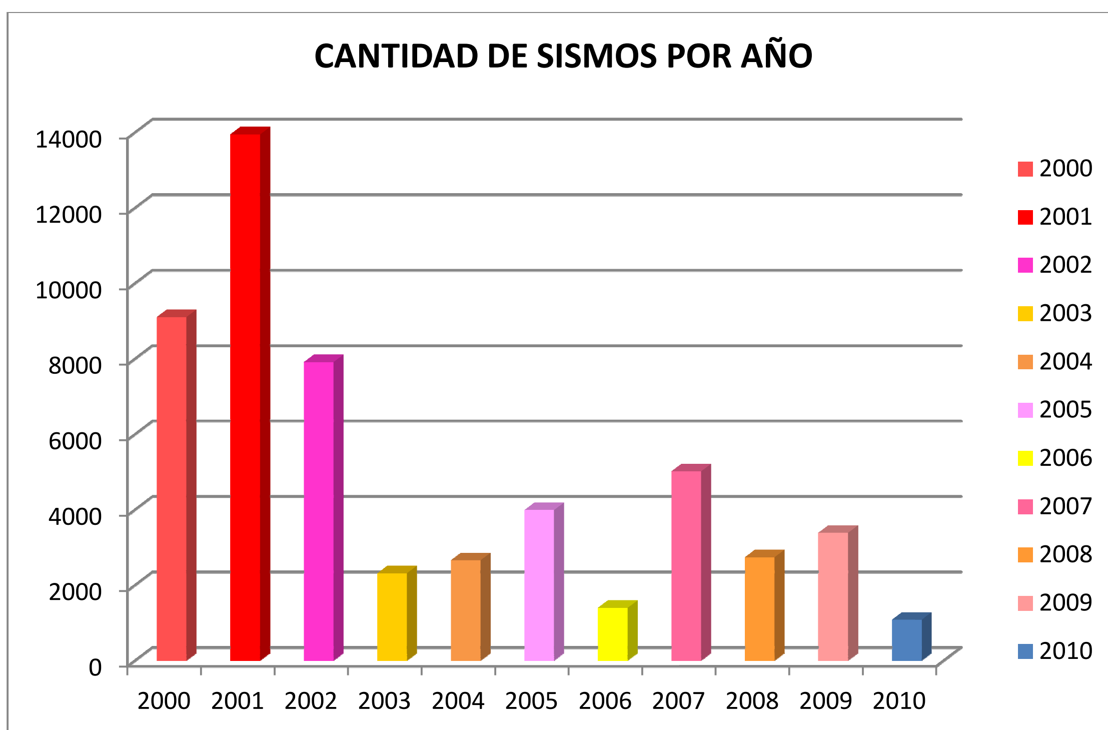
Cuadro Nº2 : Número total de sismos registrados por año

AÑO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	TOTAL
CANTIDAD	9107	13949	7912	2315	2660	3990	1399	5017	2740	3390	1082	11	**53572**

Fuente: Centro Sismológico Universidad de Tarapacá, 2011

Notas:
1. Los valores de los últimos 2 años no son definitivos, debido a que aún faltan sismos por procesar
2. Los sismos indicados del año 2011 son, casi en su totalidad, sismos sensibles.
3. La base de datos de sismos esta completa hasta junio del 2010.

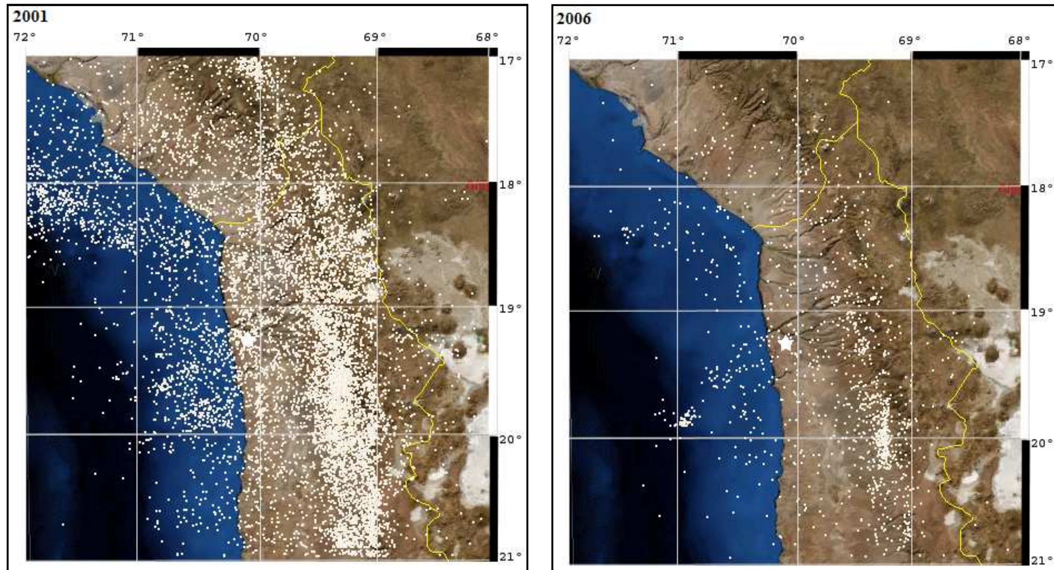
Figura N°7: Representación gráfica de sismicidad registrada 2000-2010.



Esta figura nos permite visualizar mejor las diferencias ya que se puede apreciar gráficamente las diferencias en la actividad sísmica en un periodo de 10 años (2000-2009), quedando de manifiesto el año con mayor actividad y el de menor actividad. En esta información no hay discriminación de la intensidad de los sismos, solo es de carácter cuantitativo, y al traspasarlos a su ubicación en el territorio, permite establecer aquellas zonas de mayor actividad o enjambres y las de silencio sísmico.

A continuación se presentan algunas imágenes correspondientes a la ubicación de los epicentros de los sismos, en las imágenes se presentan la situación del año 2001 en que se obtuvo la mayor cantidad de registros de sismos y la del año 2006 en que se registra el menor número de sismos.

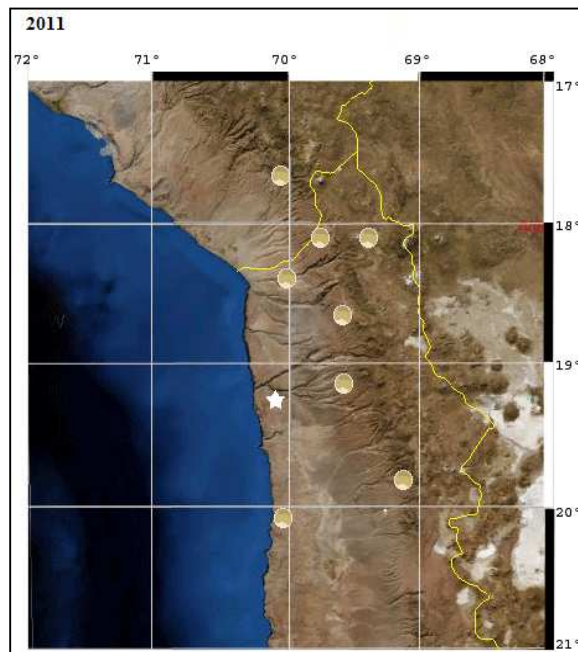
Figura N°8: Registros de sismos 2001 y 2006



Fuente: Centro Sismológico Universidad de Tarapacá, 2011

La siguiente imagen presenta la situación del año 2011, pero señala solamente los sismos sensibles.

Figura N°9: Registros de sismos sensibles 2011

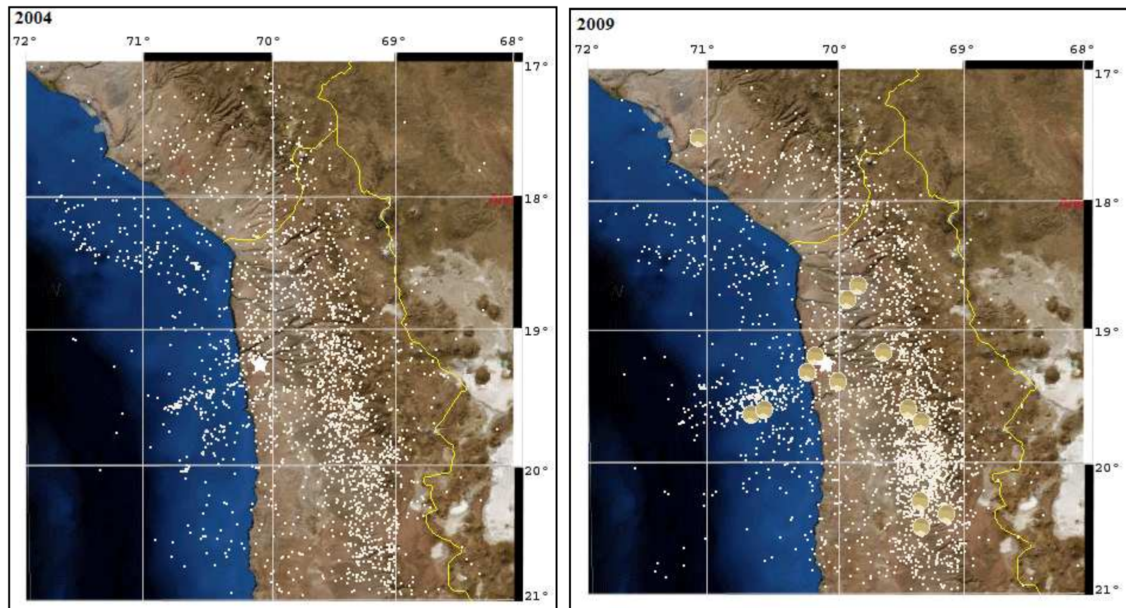


Fuente: Centro Sismológico Universidad de Tarapacá, 2011

De los mapas de eventos sísmicos anteriormente expuestos, y los que se muestran a continuación, es posible observar en estos registros que dentro la región de Arica y Parinacota, una cierta concentración o patrón de eventos en la zona oriental, norte y sur de la región, quedando una zona occidental y entre el enjambre de sismos del sur y los que aparecen en la costa del Perú, de menor actividad, silencio o brecha sísmica, esto hace suponer una

concentración de energía acumulada que no se ha manifestado. Los de la zona oriental, suelen ser menos sensibles debido a su profundidad mayor, por lo cual generalmente tienden a no provocar daños considerables en la superficie.

Figura N°10: Registros de sismos sensibles 2004 y 2009



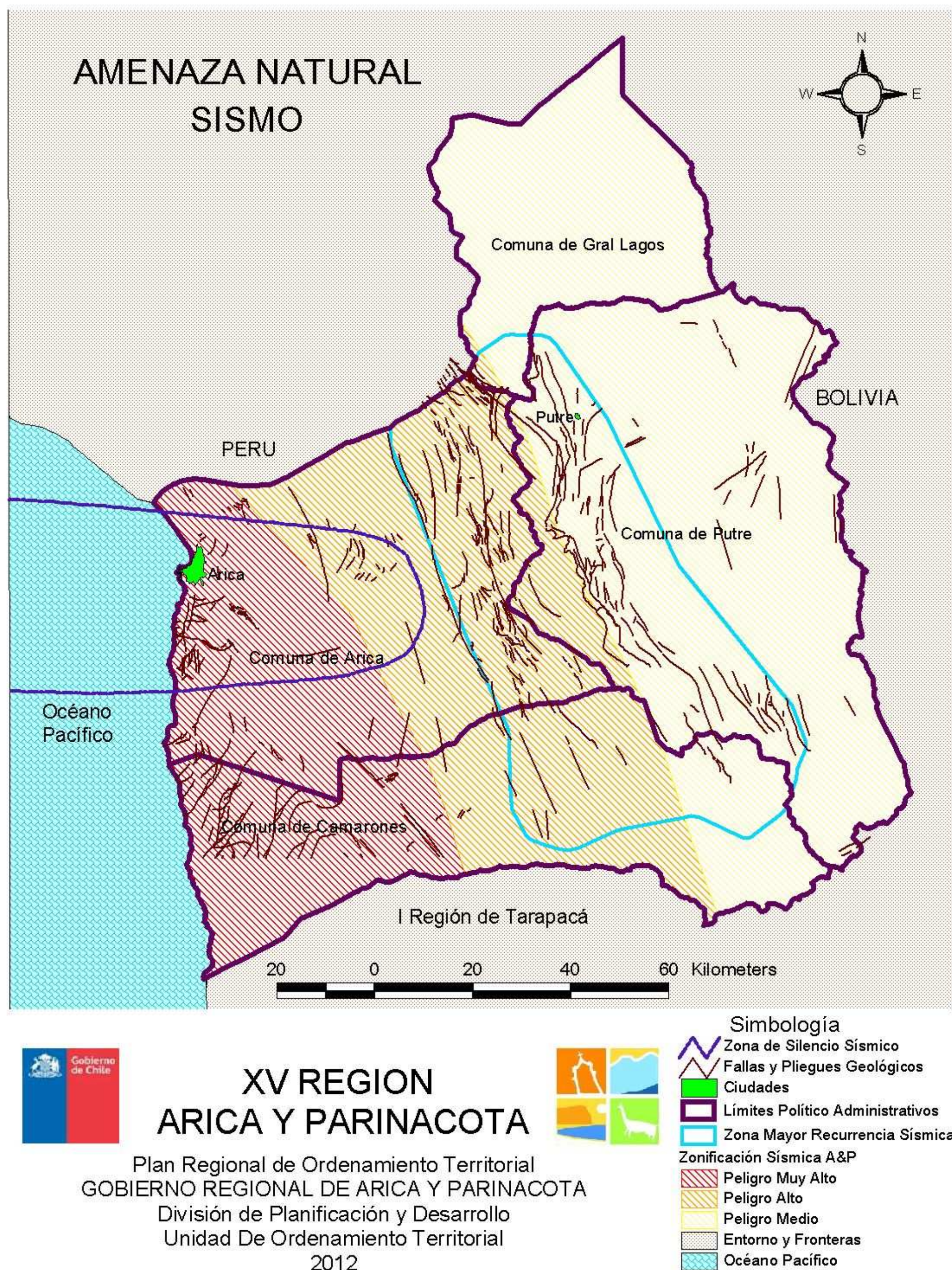
Fuente: Centro Sismológico Universidad de Tarapacá, 2011

Esta información nos ha permitido generar el mapa de Amenaza Sísmica que se presenta al final de este apartado.

De esta manera en primer lugar podemos concluir que la amenaza de daños por sismo es mayor en la proximidad a la costa y menor en la zona oriental en el altiplano y cordillera, debido a la mayor profundidad de los eventos sísmicos. También, gracias a información aportada por Sernageomin, podemos determinar zonas específicas donde se ubican fallas geológicas que se pueden activar por eventos sísmico, podemos apreciar también que el área de actividad sísmica más frecuente coincide con una zona de abundantes fallas geológicas en el límite entre las comunas de Arica y Putre. En la situación opuesta tenemos la zona de silencio sísmico que cubre el área en que se ubica el centro poblado mayor de la Región, Arica, esta falta de actividad puede estar produciendo una concentración de energía que al liberarse puede generar un sismo tsunamigénico.

2.1.3 Mapa de Amenaza Natural de Sismo

Figura N°11: Mapa Amenaza Sísmica; Región de Arica y Parinacota



Fuente: Elaboración propia en base a zonificación sísmica F. Leyton, centro sismológico UTA, sernageomin , 2012

2.2. AMENAZA POR TSUNAMI

2.2.1 Información General

Orígenes de los Tsunami:

La generación de tsunamis en Chile está asociada a la ocurrencia de grandes terremotos locales o distantes, debido a la posición geográfica de nuestro territorio, es decir, en una costa de subducción (fosa chileno-peruana), donde convergen las placas tectónicas de Nazca y la Placa Sudamericana, formando parte de lo que se ha denominado “El Cinturón de Fuego” (Figura Nº). Así, nuestro país es una de las regiones de mayor sismicidad en el mundo, su historia sísmica registra más de 30 sismos de magnitud superior a 7.5 en la escala de Richter.

Esta realidad geotectónica convierte a Chile en una zona favorable para la generación de tsunamis. Desde 1562 a la fecha, se posee información de 35 tsunamis de origen cercano a nuestras costas, los cuales han generado daños de diversas magnitudes. De esos al menos tres han afectado la costa de nuestra región con efectos desastrosos, ha habido otros de generación más lejana, como Japón que han tenido presencia como marejadas o comportamientos irregulares del mar, pero que no han provocado daños de magnitud.

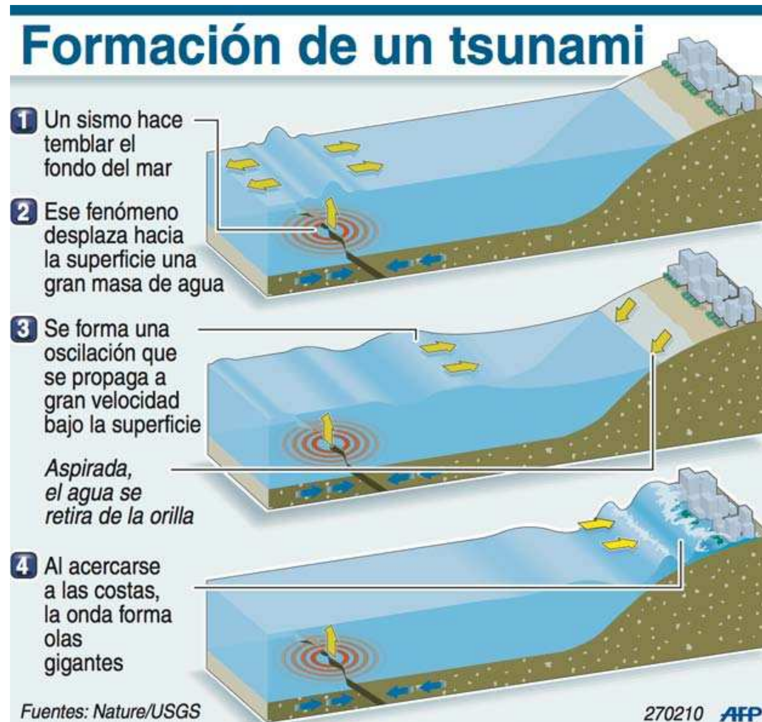
Uno de los factores que constituye una amenaza es la cercanía de la confrontación de la Placa de Nazca con la Sudamericana, la cual se aprecia por la fosa marina producto de este encuentro, ubicada a aproximadamente 175km de la costa de la ciudad de Arica, por lo mismo la capa de fricción en la cual se producen las rupturas se encuentra bastante superficial lo cual, como se mencionó en el análisis de sismos, al ser sismos de poca profundidad suelen tener manifestación en la superficie más perceptibles alterando el fondo marino lo cual origina los tsunamis como se muestra en gráficos siguientes.

Figura Nº12: Convergencia de Placas Tectónicas “Cinturón de Fuego”



Fuente: http://www.sipse.com/noticias/34968--terremotos-devastadores-cinturon-fuego-grafico.html

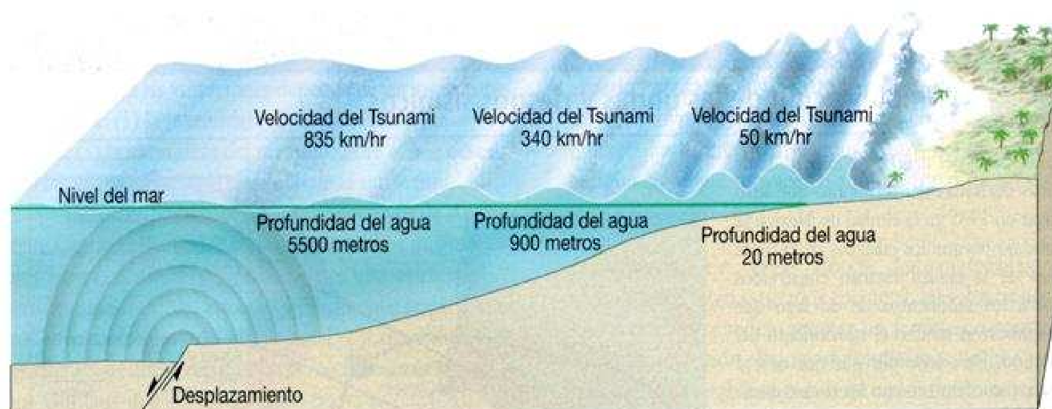
Figura Nº 13: Esquema formación de Tsunami



Fuente: http://www.usgs.gov/

La propagación de los tsunamis es mediante olas de gran longitud principalmente generadas por sismos de gran magnitud, la cresta de estas olas puede exceder los 25 metros de altura al alcanzar aguas poco profundas. Las características únicas de los tsunamis (olas con 100 km. o más de longitud, velocidades en aguas profundas de hasta 700 km/h y altura de cresta pequeña en aguas profundas) hacen que sean difíciles de detectar y monitorear. (Figura Nº)

Figura Nº14 : Esquema desplazamiento de Tsunami



http://www.sipse.com/noticias/34968--terremotos-devastadores-cinturon-fuego-grafico.html

2.2.2 Reseña Histórica de Tsunamis en la Región:

Basado en las características sismogénicas y antecedentes históricos del área de estudio, se asume que la mayoría de los terremotos que ocurren en las cercanías del área de estudio son tsunamigénicos (Comte, et al., 1988; Méndez, 2004).

En el siglo XIX la población se concentraba desde la rivera sur del río San José hasta las laderas del Morro, casco antiguo de la ciudad. En este sector el tsunami no penetró muchos metros hacia la ciudad, por encontrarse con un importante cambio de pendiente asociado a los depósitos coluviales del Morro. Sin embargo, a través del tiempo, la ciudad ha ido creciendo hacia el norte, donde la superficie es más bien plana, exceptuando la terraza fluvio-marina que se separa de los depósitos marinos arenosos bajos por un escarpe de al menos 10 metros de desnivel, por lo que las olas no tendrían oposición a su avance, pudiendo afectar de forma severa a la población y sus bienes.

Los últimos tres eventos importantes corresponden a los generados por los terremotos de 1604, 1868 y 1877, que según la escala de tsunamis de Inamura-IIDA (En Monge, 1992), han sido de grado 4 (grado máximo). El primero de ellos devastó la ciudad de Arica, que se ubicaba en el sector Chinchorro (sector costero norte de su actual emplazamiento), la que migró a los faldeos del morro después del evento para evitar futuras catástrofes (González, 1998[1]). Las primeras olas del tsunami de 1868 se tardaron 22 minutos, una vez acaecido el terremoto, y fueron las causantes de la mayoría de las 350 muertes documentadas. El tsunami de 1877 se tardó 45 minutos y causó muchos menos decesos, principalmente debido, entre otros, a la experiencia del tsunami ocurrido sólo 9 años antes (Monge, 1992[2]).

Terremoto del 24 de noviembre de 1604: Primer sismo con registros históricos, identificado por expertos como un evento mayor con un **tsunami** destructor asociado (COMTE, et al., 1988). El catálogo SISRA (Sistema de Información Sísmica Regional de América), perteneciente al territorio peruano, presenta las coordenadas: 17.88° S, 70.94° W para el sismo, asignándole una profundidad de 80 kilómetros. En su homólogo de Chile, el catálogo da otras coordenadas para el epicentro: 18.50° S, 70.35° W, no asigna una profundidad de foco determinada y tampoco intensidades. De acuerdo a fuentes históricas es razonable mantener las coordenadas del epicentro dadas por SISRA Perú, por ser una zona más poblada. No obstante, un sismo de 80 kilómetros de profundidad es un evento intraplaca incapaz de generar un tsunami, por lo que se trata de un sismo interplaca, costero, asignándosele una profundidad superficial de 10 kilómetros. Con estos parámetros se estima una magnitud promedio de M = 8,4 (COMTE, et al., 1988).
Los datos históricos de daños hablan de una destrucción prácticamente completa de la ciudad y, debido al tsunami, se reconstruyó a los pies del Morro de Arica (URRUTIA y LANZA, 1993).

Terremoto del 13 de agosto de 1868: Evento muy bien documentado y de datos certeros, por haber sido estudiado en extenso. SISRA Chile asigna las coordenadas: 18.50° S, 70.35° W, no entregando una profundidad, pero sí una magnitud de M = 8,5. También presenta una completa lista de intensidades M.M. Sobre la base de estas, COMTE, et al., (1988), asigna las siguientes coordenadas al epicentro: 17.80° S, 71.60° W. Por esta corrección y por el tsunami documentado, se estimó una profundidad de 10 kilómetros.
Los daños fueron cuantiosos, aproximadamente 350 personas muertas, muchos incendios que acabaron con lo que quedaba de la ciudad y un tsunami con olas de 20 metros, las que

[1] GONZÁLEZ, E., 1998. Estudio del sismo de Arica del 8 de agosto de 1987. Tesis para optar al título de ingeniero civil. Universidad de Chile, Santiago.
[2] MONGE, J., 1992. Tsunami risk in the city of Arica, Chile. En: Earthquake Engineering: Tenth World Conference. Rotterdam: 461-466.

destrozaron numerosos barcos que se encontraban en la bahía, dejando al WATERE (barco norteamericano) a casi un kilómetro de la costa. Los caminos quedaron completamente destruidos y las vías férreas inhabilitadas (URRUTIA y LANZA, 1993).

Figura Nº15: Foto de Ruinas de la ciudad en el actual Parque Vicuña Mackenna, tras el terremoto y tsunami de 1868.



Fuente: Sitio Web de la Municipalidad de Arica

Terremoto del 9 de mayo de 1877: Casi una década más tarde, la zona de estudio fue nuevamente sacudida por un terremoto y un tsunami asociado.

SISRA Chile asigna las coordenadas: 19.60° S, 70.23° W, sin una profundidad definida y una magnitud estimada de M = 8,3. También entrega una lista de localidades con intensidad M.M., sobre la base de las cuales se corrige el epicentro: 21.00° S, 70.25° W. Considerando los daños reportados, más el tsunami generado, se estimó una profundidad de 10 kilómetros. Se concluye que la energía liberada en este evento es menor a la registrada en 1868 (COMTE, et al., 1988).

Con respecto a los daños materiales y humanos, se informó de 5 muertos y de una destrucción parcial, aunque importante, de la ciudad. El tsunami se dejó sentir en las costas ariqueñas una hora después del terremoto con olas de 20 metros, arrastrando al WATERE de vuelta hacia la costa, dejándolo varado en la playa Las Machas (URRUTIA y LANZA, 1993).

Figura Nº16 : Foto de Ruinas de la ciudad en el frontis de la actual Casa de la Cultura (ex aduana), tras el terremoto y tsunami de 1877.



Fuente: Sitio Web Ilustre Municipalidad de Arica.

2.2.3 Mapa de Inundacion por Tsunami

En Mayo de 2011, luego de analizar nuevos antecedentes, finalizo la elaboración de la segunda edición de la Carta de Inundación por Tsunami. Esta nueva edición considera para la determinación de la inundación, la modelación del evento del año 1868, el cual es considerado como el evento mejor documentado a la fecha. Asimismo se consideró nuevos elementos disponibles de topografía, batimetría e información urbana actualizada lo que conllevó la extensión del límite de la carta, en comparación con la de 1997 y se tomó en consideración el máximo nivel del mar. En esta edición también se utilizó nuevos y mejores recursos computacionales.

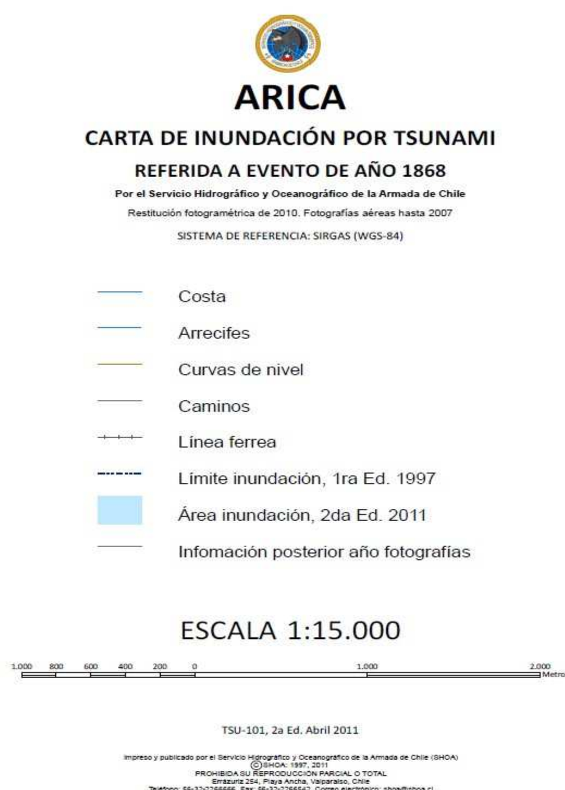
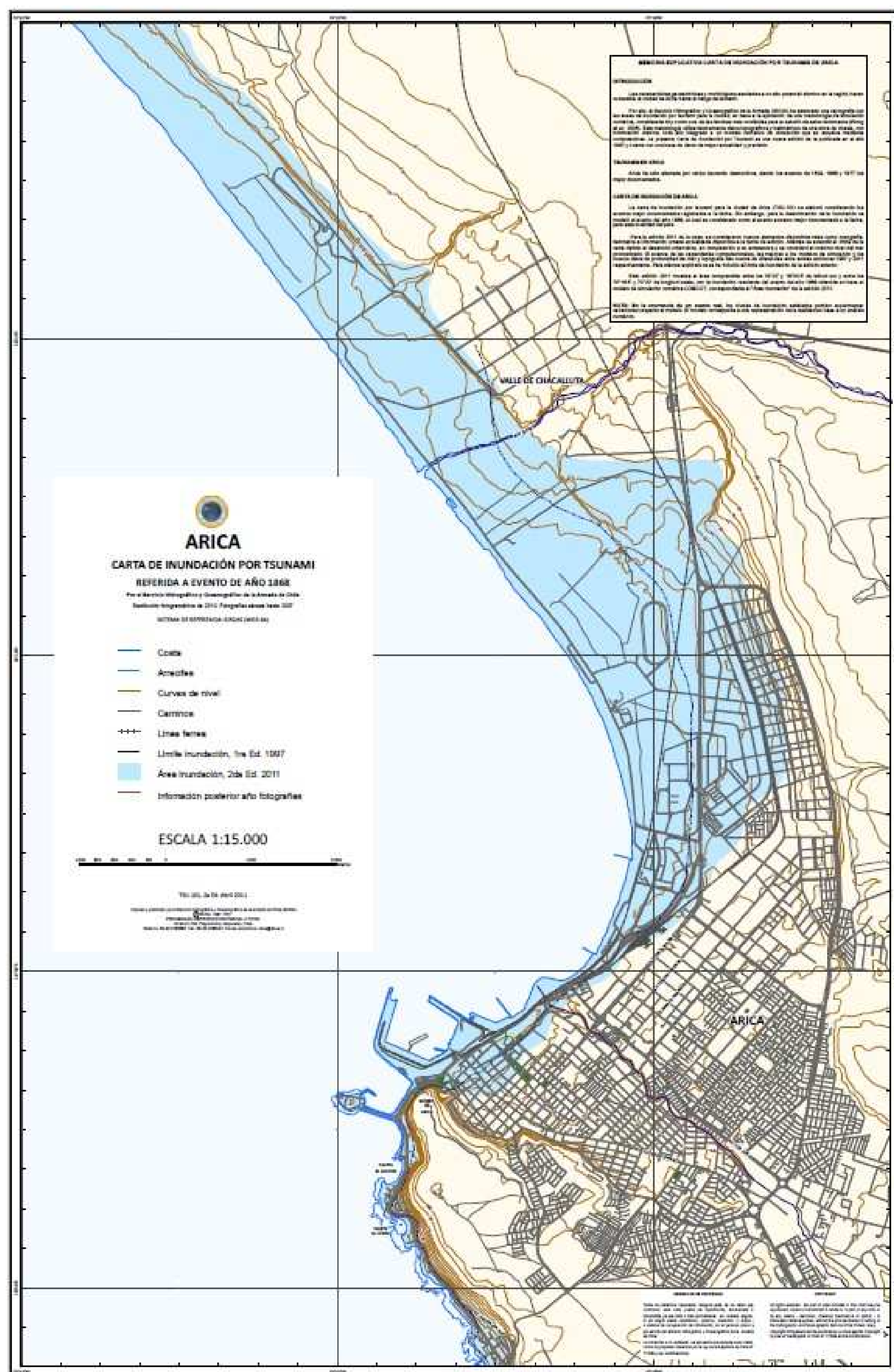


Figura Nº17 : Carta de inundación tsunamigénica para Arica



Fuente: SHOA, 2011

Cuadro Nº3: Extracto de Mapa Inundación por Tsunamis

MEMORIA EXPLICATIVA CARTA DE INUNDACIÓN POR TSUNAMIS DE ARICA

INTRODUCCIÓN

Las características geotectónicas y morfológicas asociadas a un alto potencial sísmico en la región, hacen vulnerable la ciudad de Arica frente al riesgo de tsunami.

Por ello, el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) ha elaborado una cartografía con las áreas de inundación por tsunami para la ciudad, en base a la aplicación de una metodología de simulación numérica, *considerada hoy como una de las técnicas más confiables para el estudio de estos fenómenos* (Wong *et al.*, 2006). Esta metodología utiliza básicamente datos topográficos y batimétricos de una zona de interés, con información sísmica, todo ello integrado a un modelo numérico de simulación que se resuelve mediante computadores. La presente Carta de Inundación por Tsunami es una nueva edición de la publicada en el año 1997 y cuenta con una base de datos de mayor actualidad y precisión.

TSUNAMIS EN ARICA

Arica ha sido afectada por varios tsunamis destructivos, siendo los eventos de 1604, 1868 y 1877 los mejor documentados.

CARTA DE INUNDACIÓN DE ARICA

La carta de inundación por tsunami para la ciudad de Arica (TSU-101) se elaboró considerando los eventos mejor documentados registrados a la fecha. Sin embargo, para la determinación de la inundación se modeló el evento del año 1868, el cual es considerado como el evento extremo mejor documentado a la fecha, para esta localidad del país.

Para la edición 2011 de la carta, se consideraron nuevos elementos disponibles tales como: topografía, batimetría e información urbana actualizada disponible a la fecha de edición. Además se extendió el límite de la carta debido al desarrollo urbanístico, en comparación a su antecesora y se consideró el máximo nivel del mar pronosticado. El avance de las capacidades computacionales, las mejoras a los modelos de simulación y los nuevos datos de profundidad del mar y topografía dan cuenta de diferencias entre ambas ediciones 1997 y 2011 respectivamente. Para efectos explicativos se ha incluido el límite de inundación de la edición anterior.

Esta edición 2011 muestra el área comprendida entre los 18°22' y 18°30.5' de latitud sur y entre los 70°16.5' y 70°22' de longitud weste, con la inundación resultante del evento del año 1868 obtenida en base al modelo de simulación numérica COMCOT, correspondiente al "Área inundación" de la edición 2011.

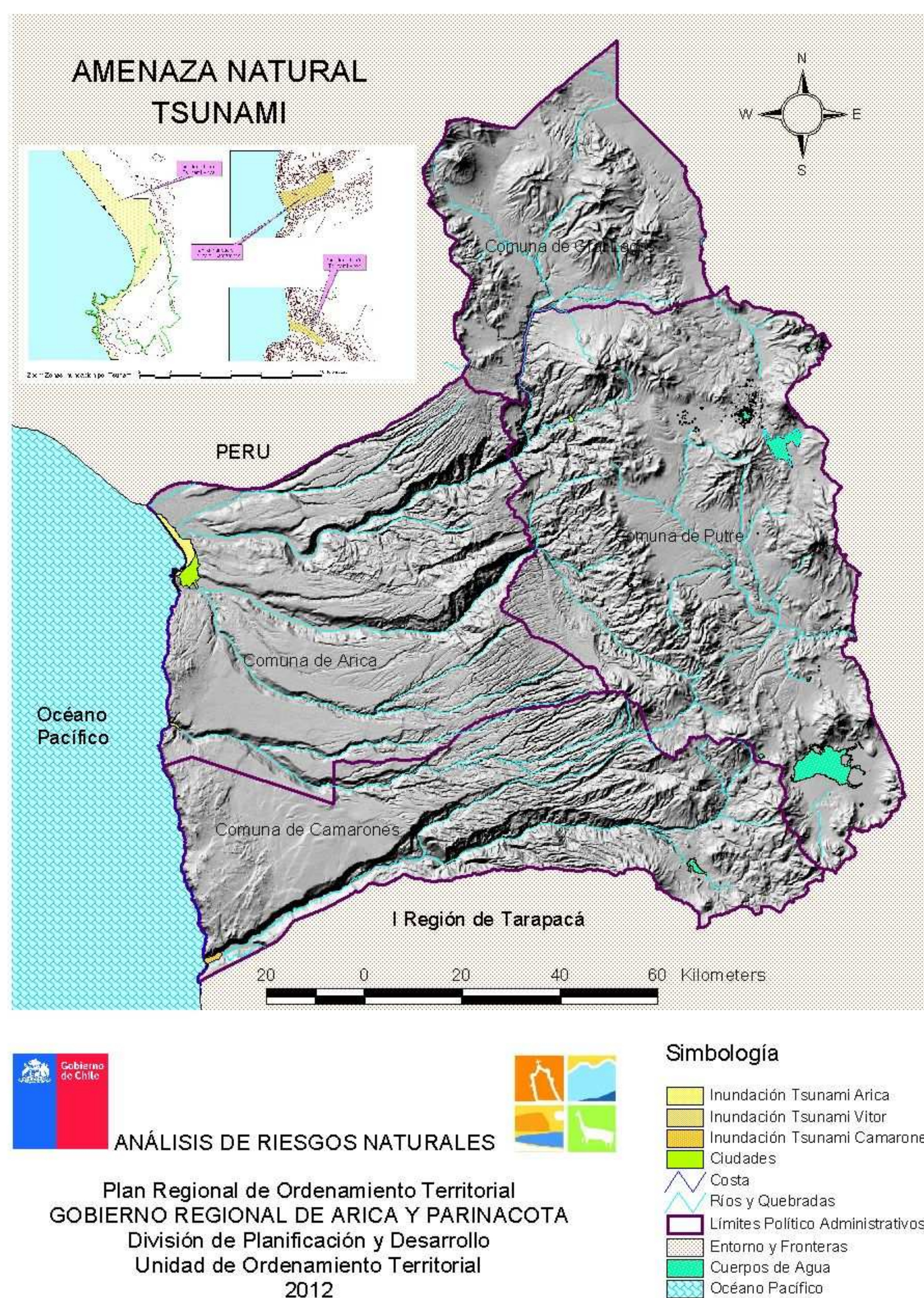
NOTA: En la ocurrencia de un evento real, los niveles de inundación señalados podrían experimentar variaciones respecto al modelo. El modelo corresponde a una representación de la realidad en base a un análisis numérico.

Fuente: Carta de Inundación por Tsunami, Servicio Oceanográfico de la Armada SHOA, 2011

En el mapa que se presenta a continuación, se considera toda la costa de la región, ya que esta amenaza solo afecta el borde costero y las tierras bajas que se encuentren colindantes con la costa, el resto del territorio que no se encuentra expuesto al mar no tiene amenaza de tsunami.

Si bien la mayor extensión de la costa está conformada por acantilados deshabitados, existen dos Quebradas de ríos de poca elevación, de norte a sur corresponden a Vitor y Camarones, que desembocan en el mar, donde existen asentamientos humanos pequeños, dedicados a actividades pesqueras y agrícolas que eventualmente pueden desarrollarse y crecer, estos podrían verse afectados por la penetración del tsunami, por lo que se ha definido la zona de inundabilidad en estas áreas.

Figura N°18: Mapa Amenaza Tsunami; Región de Arica y Parinacota



Fuente: Elaboración propia, 2011

2.3. AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA

2.3.1 Información General

En 1981, Gerhard Abele describió a la Región de Arica y Parinacota con una característica morfológica que la distingue del norte del Perú y del Norte grande de Chile hacia el sur. El hinterland de Arica tiene un ascenso horizontal desde el Océano Pacífico hacia el cordón occidental de la Cordillera de los Andes de sólo 90 km, donde sus más altas cumbres (6000 m. s. n. m.) se ubican a sólo 125 km de distancia del mar, salto altitudinal que da paso a la existencia de pisos altitudinales, climáticos, vegetacionales y geomorfológicos con un ordenamiento particularmente estrecho.

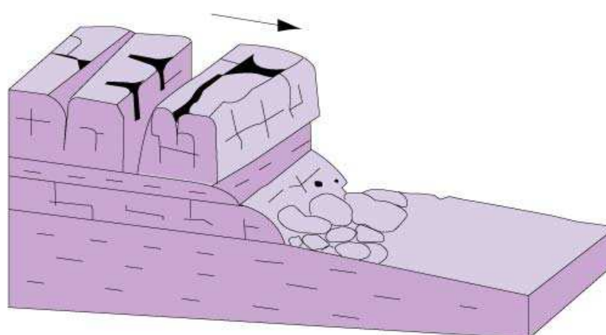
La estructura altitudinal mencionada está determinada por las condiciones hígricas de la región, donde las precipitaciones máximas ocurridas en periodos estivales juegan un rol fundamental en el modelamiento del paisaje, que sumado a un clima desértico que inhibe las expresiones abundantes de vegetación y favorece la meteorización y erosión del sustrato rocoso, proporciona las condiciones necesarias para entender que la generación de remoción en masa en el territorio Regional está asociada a dos grandes detonantes, Lluvias Estivales y Sismos, y se manifiesta a través de deslizamientos y derrumbes.

Remoción en masa.

El fenómeno de Remoción en masa está referido a un proceso de movilización de material de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones y generados por diversos factores. Según las características presentes en la Región de Arica y Parinacota y la clasificación de Keefer (1984), pueden identificarse dos clases de remoción en masa, deslizamientos y derrumbes. Los deslizamientos tienen un área de influencia de amenaza extensa, más aún si se asocian a un nivel de base en el fondo de valles, mientras que los derrumbes son bastante localizados (Organización de Estados Americanos [OEA], 1991), lo cual puede evidenciarse en el reconocimiento de puntos críticos en la Red Vial Regional. A su vez, se reconocen tres tipos de deslizamientos probables de generarse:

- Caída de rocas (rock falls). Se produce en todo tipo de rocas, principalmente en las fuertemente erosionadas y/o diaclasadas, y se presenta sobre los 45° de inclinación.

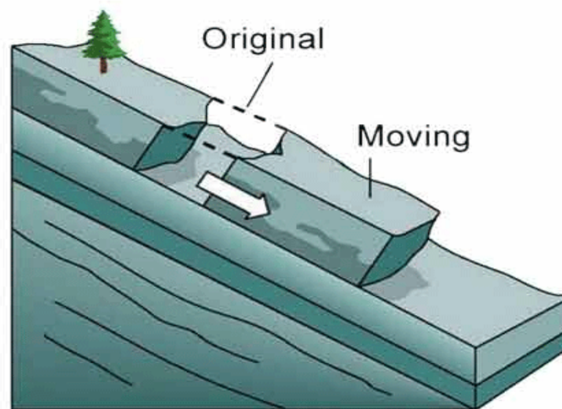
Figura Nº19: Esquema Caida de Rocas (Rock falls)



Fuente: http://www.bgs.ac.uk/discoveringGeology/hazards/landslides/translationalSlides.html

- Deslizamientos de rocas (rock slides). Se produce en masas de rocas débilmente cohesionadas, es decir en rocas desagregadas en fragmentos y bloques. Se presenta sobre los 35° de inclinación.

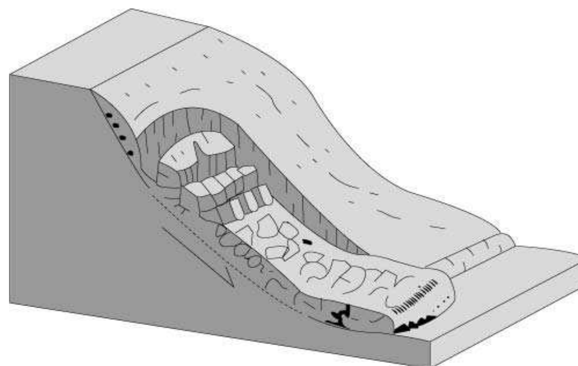
Figura Nº20: Esquema Deslizamiento de Rocas (Rock slides)



Fuente: http://www.aegweb.org/i4a/pages/index.cfm?pageid=4073

- Caídas de suelos (soil falls), equivalente al debris slide de Young, (1972). La caída de suelos se produce en estratos depositados paralelos al plano de la pendiente, cuando un bloque de éstos se desprende de la masa principal. Se presentan sobre los 40° de inclinación.

Figura Nº21: Esquema Deslizamiento de Suelo



Fuente: http://www.bgs.ac.uk/discoveringGeology/hazards/landslides/translationalSlides.html

La velocidad promedio de estos deslizamientos va desde 0.3 metros por minuto a sobre los 3 metros por segundo, son deslizamientos poco profundos, se dan desde suelos secos a saturados y se los identifica como masas muy desagregadas (Keefer, 1984).

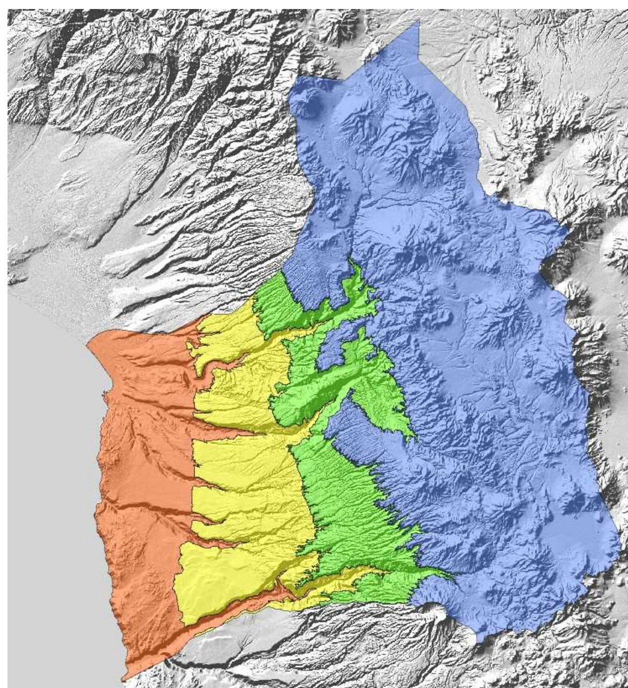
Metodología

La metodología utilizada para identificar las áreas amenazadas por Remoción en Masa se basa en la generación de un mapa de que considera la variable de pendiente con alta probabilidad de deslizamiento y la de muy alta erodabilidad, esta última incluye información climática relacionada con las precipitaciones junto con la de suelos vegetacionales considerando el nivel de cobertura.

Clima

Para la definición del clima en la región se tomará en consideración la zonificación climática definida por la Dirección Metereorológica de chile, la cual establece que la Región de Arica y Parinacota está sometida a condiciones atmosféricas desérticas, con una temperatura promedio de 18° C y con precipitaciones escasas a nulas. Las cuatro clasificaciones de clima en la región corresponden a franjas que se delimitan más o menos por el sentido de las macroformas del territorio, con lo cual se identifica de costa a cordillera el clima Desértico Costero con nublados abundantes, Desértico Normal o interior, Desértico Marginal de Altura y Estepa de Altura o desértico frío.

Figura Nº22: Ilustración Mapa climático de la región de Arica y Parinacota



Fuente: Elaboración Propia, 2012

ZONIFICACION CLIMATICA

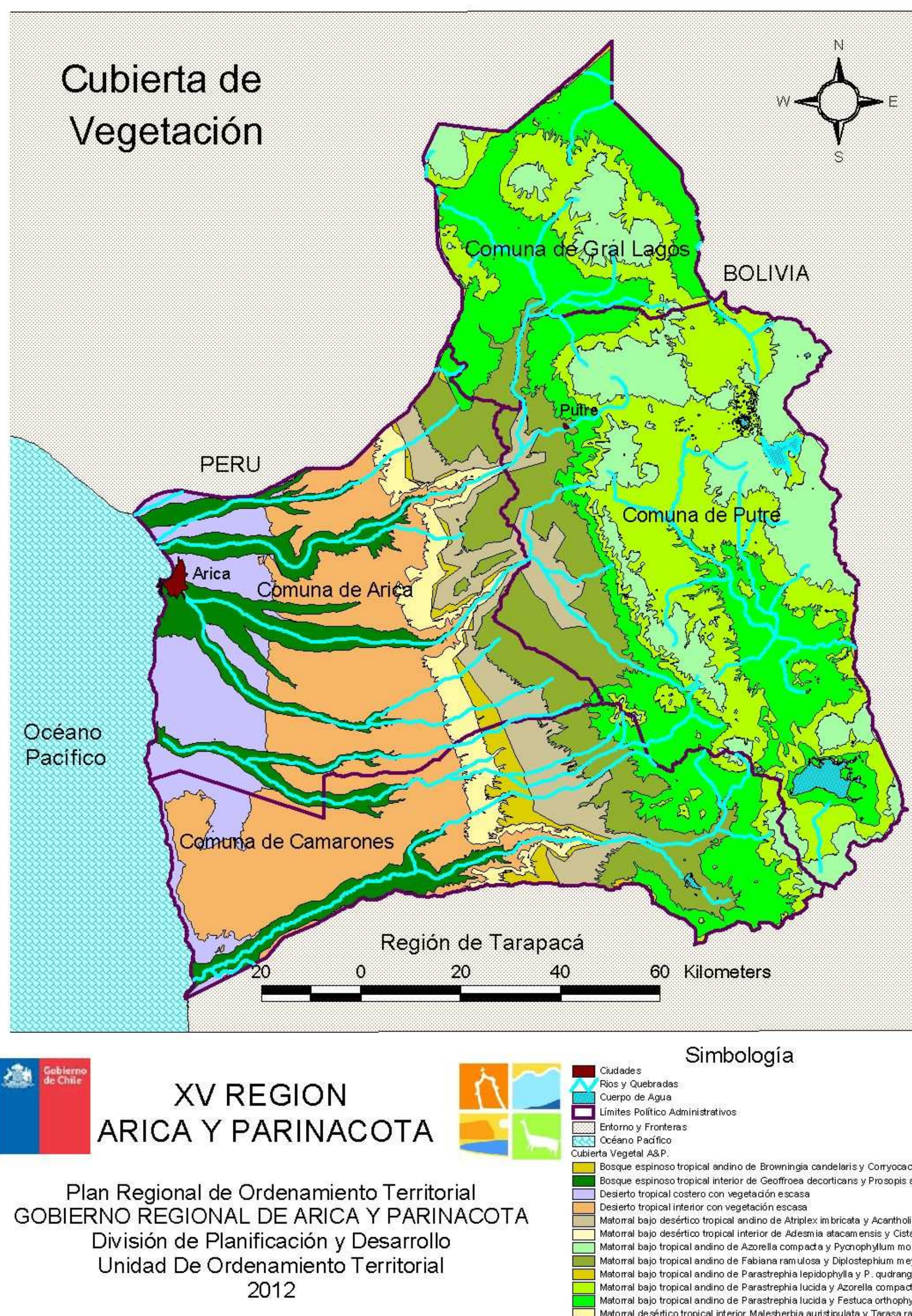
- Clima desértico con nublados abundantes
- Clima desértico normal
- Clima de desierto marginal de altura
- Clima estepa del altura

En el clima desértico costero (anaranjado) predomina la influencia oceánica a través de la humedad y neblina costera baja, y por ello una moderación de la oscilación térmica diaria. La temperatura promedio anual es de 19° C y las precipitaciones alcanzan 1,1 mm. En el clima desértico normal o interior (amarillo), las temperaturas anuales promedio están en los 18°C y tiene una amplitud térmica anual de 24°C, en la zona de los valles transversales, las precipitaciones pueden alcanzar entre los 22 mm (Instituto de Investigaciones Agropecuarias [INIA], 1989) y 30 mm anuales (Abele, 1981). El clima desértico marginal de altura o frío (verde) se ubica sobre los 2500 m. s. n. m. y posee una temperatura media anual aproximada de 10° C y las precipitaciones ascienden a 200 mm. Mientras que en el clima de estepa de altura o tundra (azul) por efecto de altura las precipitaciones alcanzan cerca de los 300 mm (Abele, 1981).

Pisos Vegetacionales

En el mapa a continuación se presenta los pisos vegetacionales de la región, definidos por CONAMA:

Figura Nº23: Ilustración Mapa Pisos Vegetacionales



Fuente: Elaboración Propia en base a SINIA, 2012

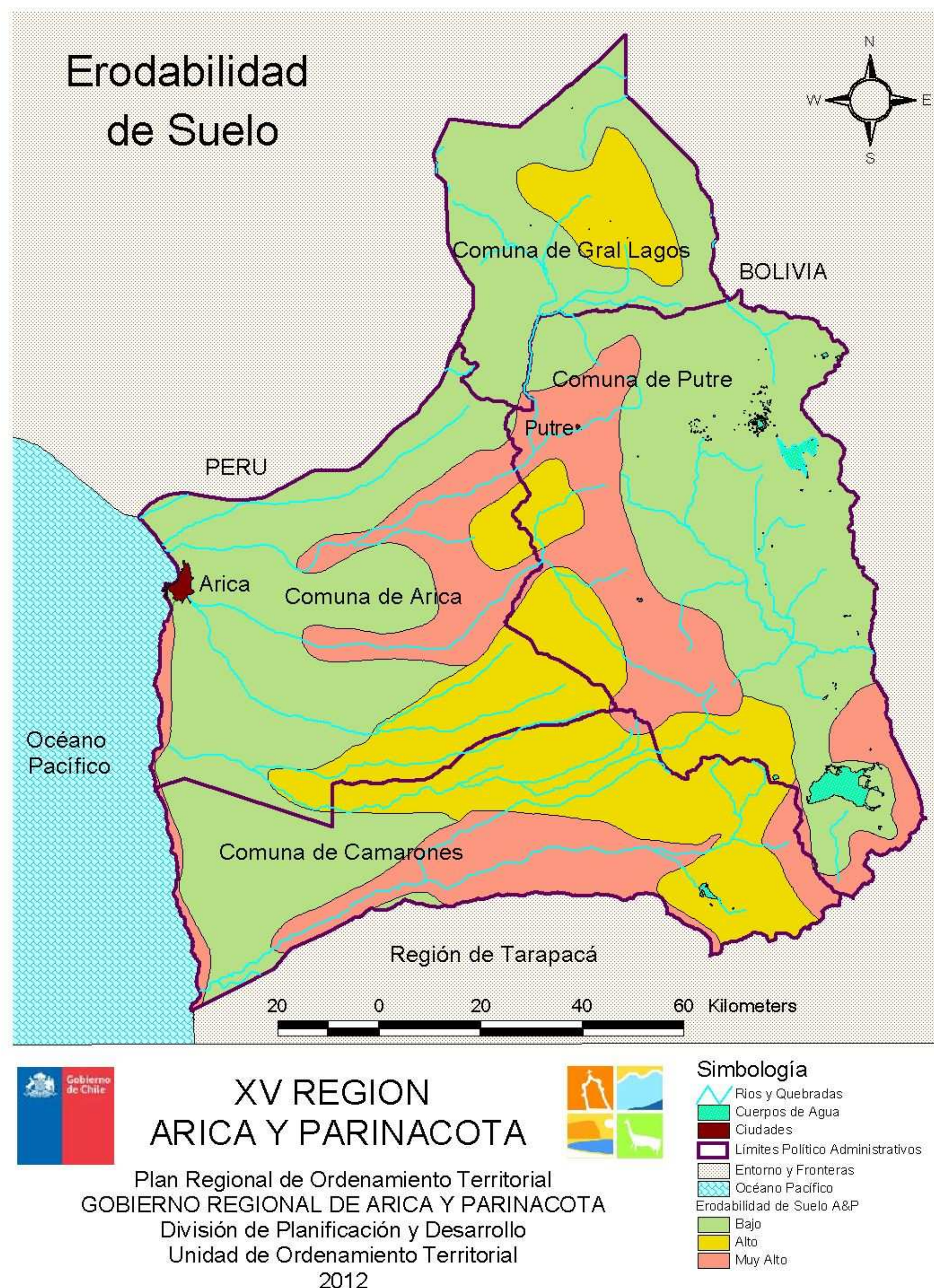
En la Región son identificados por CONAMA (2009) doce pisos vegetacionales. Los cuales son espacios caracterizados por un conjunto de comunidades vegetales zonales, las que responden a condiciones meso-climáticas homogéneas. La cubierta vegetal en Arica y Parinacota se desarrolla en el área que recibe mayores montos de precipitaciones medias anuales, en este sentido, en la medida que se desciende de la cordillera al mar, la vegetación

se hace más escasa, pues la fuente de agua está en las lluvias estivales y de altura (Abele, 1981). Entre los 4500 m y 3300 m, Abele (1981) la cubierta vegetal es tal que impide o dificulta la erosión del suelo a pesar de las fuertes pendientes que se puedan hallar en el área.

Erodabilidad del Suelo

A continuación se presenta el mapa de erodabilidad que consideró variables de pendiente, climáticas y cubierta vegetal

Figura Nº24: Ilustración Mapa de Erodabilidad del suelo



Fuente: Elaboración Propia en base a SINIA, 2012

Para la definición de la Erodabilidad en la región se ha tomado como base los estudios realizados por Gerhard Abele presentados en el documento "Zonificación Altitudinal Morfológica e Hígrica de la vertiente Andina Occidental en la región limítrofe Chileno Peruana".

Las zonas de mayor erodabilidad de suelos en la región coinciden con las áreas de más altas pendientes, ubicadas en cabeceras de valle y sector cordillerano. Dentro de estas áreas, Abele (1981) identifica dos pisos de erosión entre los 3100-3300 m y 1100-1200 m. El primero lo denomina como el piso de intensa erosión de cañadas, caracterizado por una intensa disectación de laderas por cárcavas y cañadas, producto de la ocurrencia de precipitaciones estivales y la disminución progresiva de vegetación en la medida que se desciende de cordillera a mar, la cual disminuye por los menores montos de precipitaciones promedios anuales. En este piso la intensidad de las precipitaciones estivales, sumado a su breve duración y a las fuertes pendientes marcan la tónica de los eventos de remoción en masa.
El segundo piso que presenta erosión es en comparación al anterior de carácter leve, y es denominado por Abele (1981) como piso altitudinal de débil erosión en cárcavas y cañadas. Este piso presenta indicios claros de erosión en laderas, pero estos son menos evidentes en la medida que descendemos hacia el oeste.
De esta manera, considerando las variables de clima, pisos vegetacionales y pendientes, se ha definido el mapa de Erodabilidad presentando las zonas mas propensas a remoción en masa por deslizamientos

Pendiente
Las pendientes se han obtenido a partir de un DEM del territorio regional realizado con curvas de nivel equidistantes 50 m. Para establecer los intervalos de pendientes, se utilizó como referencia la siguiente Clasificación de Pendientes establecida en el estudio "Definición de Parámetros para Establecer un Banco Nacional de Riesgos y Amenazas Naturales. Criterios para su Diseño", realizado por Araya, Vergara y Borgel 1972:

Cuadro Nº4: Tabla Intervalos de pendientes según umbrales morfo-dinámicos

Pendiente (grados º)	Pendiente (porcentaje %)	Identificación	Umbral Geomorfológico
0 - 2	0– 4.5	Horizontal	Erosión nula a leve
2.1 – 5	4.6 – 11	Suave	Suave erosión leve, difusa. Shett wash. Inicio de regueras. Solifluxión fría.
5.1 – 10	11.1 – 22	Moderada	Erosión moderada a fuerte. Inicio erosión lineal. Rill wash o desarrollo de regueras.
10.1 – 20	22.1 – 44.5	Fuerte	Fuerte erosión intensa. Erosión lineal frecuente. Cárcavas incipientes.
20.1 - 30	44.6 – 67	Muy Fuerte	Moderadamente escarpada, cárcavas frecuentes. **Movimientos en masa,**
30.1 – 45	67.1 – 100	Escarpada	**Coluvionamiento, solifluxión intensa.**
> de 45	> de 100	Muy Escarpada a Acantilada	**Desprendimiento y derrumbes.**

Fuente: Clasificación de Pendientes. Araya, Vergara y Borgel, 1972.

Para comprender el fenómeno de deslizamientos y derrumbes se consideró predominantemente la existencia de pendientes fuertes, es por ello que en base a la tabla anterior se determinó como área susceptible de Remoción en Masa el siguiente rango de pendiente:

Cuadro Nº5: Tabla Rango de pendientes para determinar áreas Susceptibles de Remoción en Masa

Pendiente (grados º)	Pendiente (porcentaje %)	Identificación	Probabilidad de ocurrencia de fenómeno de Remoción en Masa
0 a 10	0 a 22	Pendiente Horizontal a Suave	Sin Amenaza
10 a 30	22,1 a 67	Pendiente Moderada a Muy Fuerte	Escasa a mediana probabilidad
30 a 90 y >	67 a > 100	Pendiente Muy Fuerte A acantilada	Alta a Muy Alta probabilidad

Fuente: elaboración propia.

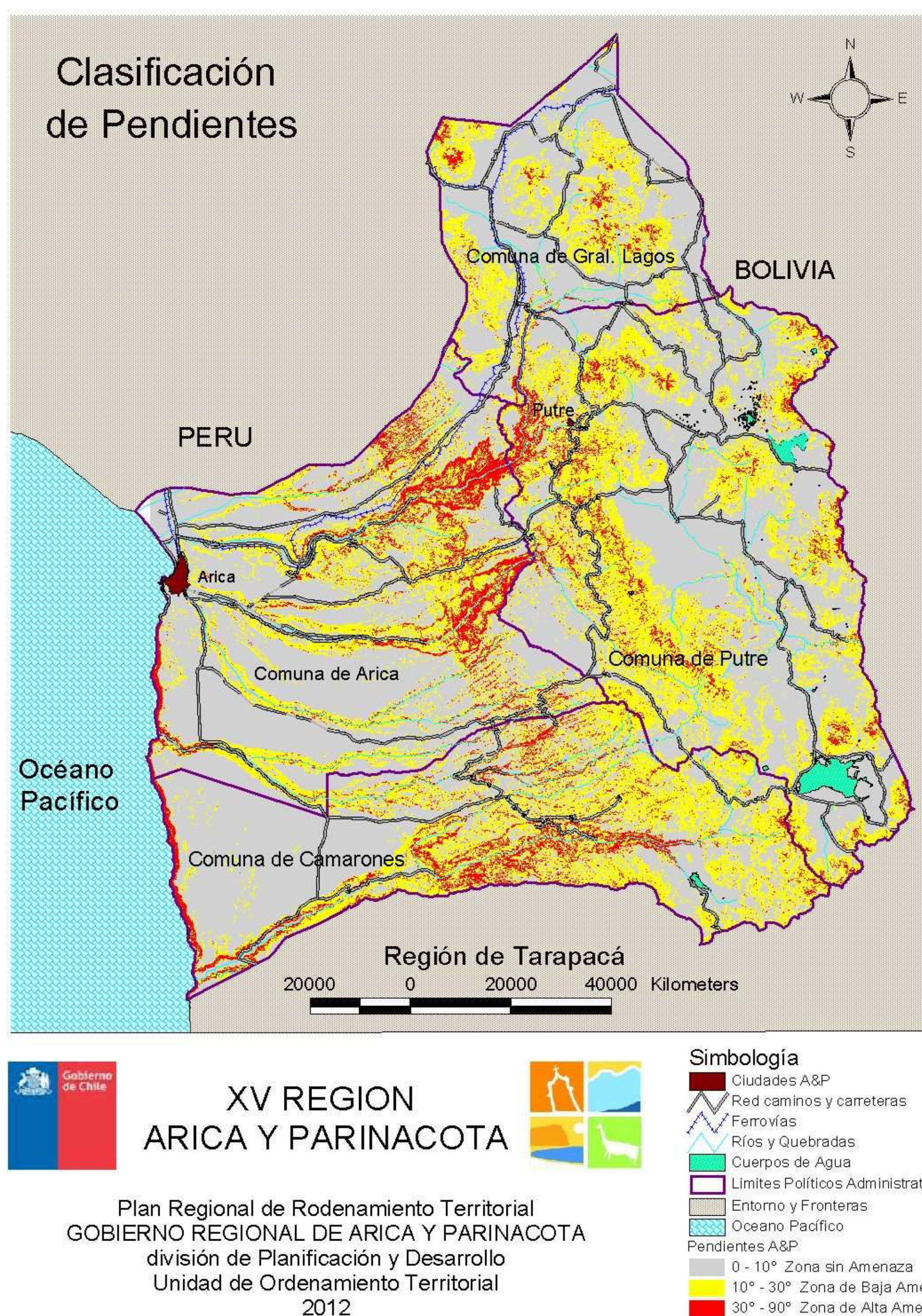
De acuerdo a la tabla anterior, se determina que en caso de que una variable (lluvias, sismos, entre otras) actúe como detonante provocando una remoción en masa, los intervalos permiten identificar la probabilidad de ocurrencia de remoción en masa dependiendo del grado de pendiente que posean las laderas.

Esta variable fue considerada como base para definir las áreas con alto potencial de remoción en masa. Considerando tres intervalos, las coloraciones oscuras en el mapa corresponden a las zonas con mayor probabilidad de caer bajo el efecto de deslizamientos y derrumbes, pues corresponden a pendientes superiores a 10° o 22%

El patrón de ubicación de las pendientes más fuertes está dado en las cabeceras de los valles transversales en el sector de la Pampa, área desde la cual las laderas se pronuncian encajonando a los cursos hídricos que drenan, las más altas cumbres encontradas en el cordón occidental de la Cordillera de los Andes y cumbres aisladas en la altiplanicie de Arica y Parinacota.

En los sectores con pendientes abruptas se puede apreciar con claridad la tendencia que empuja por gravedad los materiales a niveles inferiores. Si bien el sustrato rocoso suele ser fuerte y bien sostenido que permanece inmóvil en su sitio, en la medida que la pendiente se haga más escapada, ésta se fracturará deslizándose hacia nuevas posiciones de reposo (Strahler, 1994). Son estas áreas de pendientes pronunciadas las que tienen un mayor potencial de amenaza de deslizamientos y derrumbes para las personas y para las instalaciones cercanas.

Figura Nº25: Ilustración Mapa de Pendientes



Fuente: Elaboración Propia en base a SINIA, 2012

2.3.2 Reseñas de Remoción en Masa

- -13 junio 2005. Chile. Un terremoto de 7,9 grados en la escala Richter, que afectó principalmente a la ciudad norteña de Iquique y alrededores, deja 12 muertos, 200 heridos, miles de damnificados.
  Fuente: http://www.elmundo.es/america/2010/01/13/noticias/1263377689.html

… En la ciudad de Arica se produjeron aludes de rocas desde el morro de Arica hasta la Costanera, superando las 400 toneladas de material desprendido, sin dañar a ningún habitante.
Fuente: http://cruzdearoma.wordpress.com/2010/06/12/ecos-del-terremoto-del-2005-en-el-pueblo-de-huasquina/

Figura Nº26: Foto derrumbes Morro Arica



fuente: http://www.sismo24.cl/500sismos/720chresumen01.html

- 25/06/2001 Arica: Descartan tsunami y derrumbe del morro. Los problemas aparecen en la ruta a Putre, con derrumbes que persisten en los sectores Quebrada Cardones y Boca Negra. La ruta A-023, de Putre y Visviri, se encuentra cortada por grietas en el camino y lodo producto de un aluvión, el que arrasó con sembrados y ganado camélido. En cada punto con problemas se observa personal de Validad trabajando arduamente para normalizar la situación y evitar el aislamiento de los poblados… Obreros municipales trabajan retirando las rocas que cayeron en una de las calzadas de la Costanera Sur.
Fuente: http://prontus.cooperativa.cl/prontus_nots/site/artic/20010625/pags/20010625150200.html

Figura Nº27: Foto rocas caidas del Morro



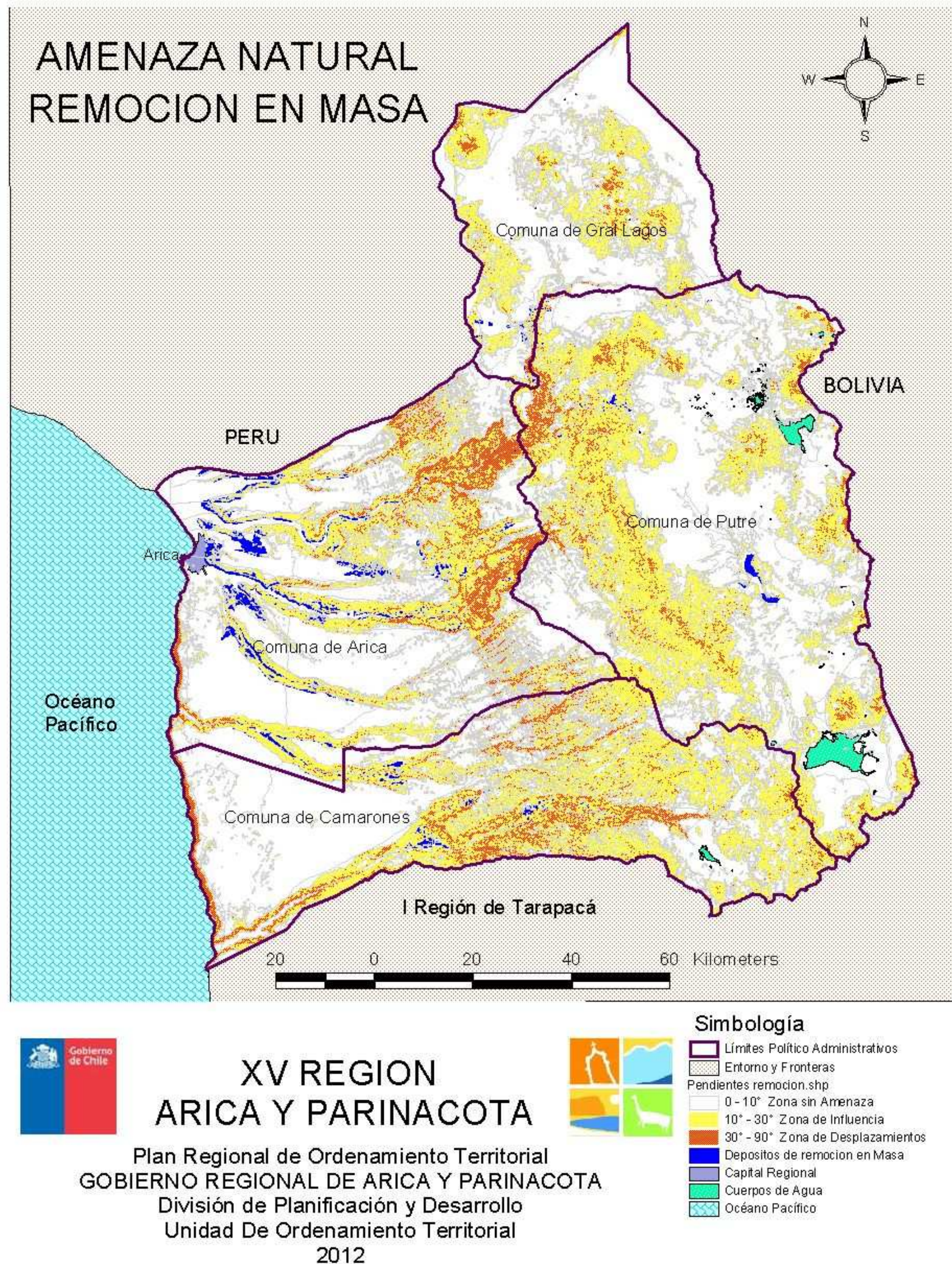
Fuente: http://www.atinachile.cl/content/view/2088/Danos-en-patrimonios-historicos-a-causa-del-terremoto.html

- Vuelve la normalidad a Codpa y Camarones. Lentamente vuelve la normalidad a Codpa y Camarones. Ayer se restableció el acceso a ambas localidades, luego de quedar bloqueados sus accesos, producto de derrumbes ocasionados por el terremoto del lunes.
  Lo que resta es la reparación de caminos hacia pequeños pueblos como Watanave, Guañacagua, Esquiña e Illapata, que permanecen con complicaciones. Asimismo, en el poblado de Camarones existen problemas con los canales que usan los habitantes para servicio, porque el agua fue afectada por el deslizamiento de tierra y rocas.
  Fuente: (http://www.subdere.cl/1510/w3-printer-67761.html)

2.3.3 Mapa de Amenaza por Remoción en Masa

Este mapa se construye a partir de las zonas afectas a **deslizamientos** producto de Erosionabilidad Alta y muy Alta, junto con las zonas afectas a **derrumbes** por Pendiente Fuerte, Muy Fuerte y Escarpada.

Figura Nº28: Ilustración Mapa de Remoción en Masa



Fuente: Elaboración Propia en base SINIA y SERNAGEOMIN, 2012

2.4. AMENAZA VOLCANICA

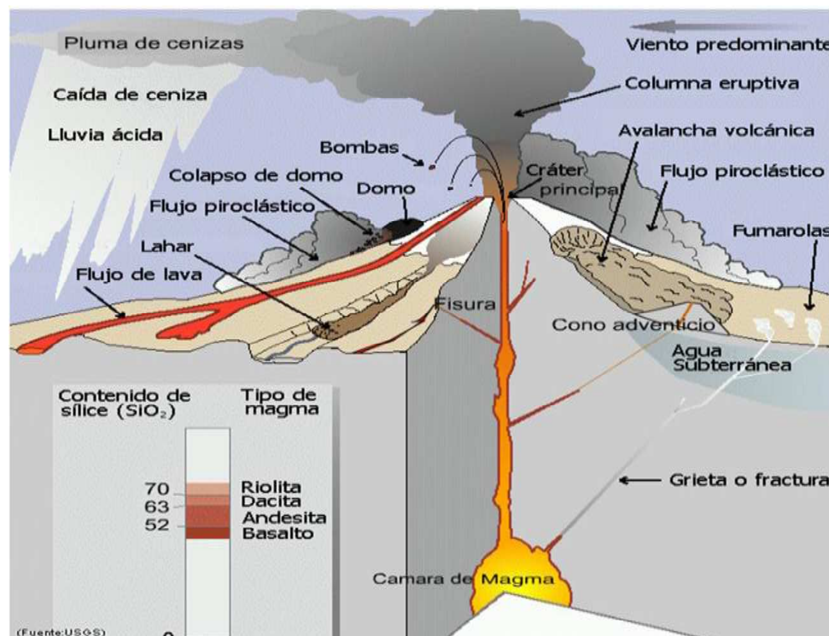
2.4.1 Información General

Tal vez lo más crítico en el estudio del volcanismo es que todos los volcanes son diferentes y tienen su propio comportamiento, lo cual obliga a conocerlos integralmente y en forma independiente. Las diferencias se deben fundamentalmente, a la composición de los magmas, a la presencia o ausencia de un reservorio de magma o cámara magmática, si existe una o más cámaras magmáticas, a la composición y madurez de éstas, a los procesos de diferenciación magmática que tienen lugar durante el ascenso y almacenamiento del mismo, a la mezcla de magmas, a la antigüedad del volcán, estructuras, etc. En otras palabras, el estudio detallado de un volcán, sólo permite conocer su propia génesis, evolución y conducta. Este conocimiento no se puede extrapolar a otros volcanes.

El volcanismo se genera cuando el magma alcanza y emerge en la superficie de la Tierra. Este magma, elemento responsable del volcanismo, es el material silicatado fundido, a temperaturas entre 900º y 1400º C, que se genera en el manto superior, a profundidades variables entre unos 70 y 300 km. El ascenso del magma se produce por la diferencia de densidades (líquido-sólido) a través de las fracturas de la litosfera (oceánica o continental).
La actividad eruptiva es el conjunto de fenómenos relacionados con la salida de materiales sólidos, líquidos y gaseosos a la superficie terrestre (Figura Nº27). Esta actividad se identifican como:

* Efusivas: emisión tranquila y constante de lava
* Explosivas: fragmentación y expulsión violenta de magma
* Explosiva hidromagmática: la entrada de agua al sistema puede producir aumento del grado de violencia del fenómeno
* Gaseosa

Figura Nº 29: Esquema Sistema Volcánico



Fuente: http://www.volcandecolima.com/info/index.html

Por su parte, el magma tiene tres fases: una líquida silicatada, otra sólida (cristales) y una gaseosa, en la cual se encuentran compuestos como el H2O, CO2, SO2, H2S, HF, HCl, entre otros. Al alcanzar la superficie, los gases escapan debido a la repentina disminución de la presión. Como consecuencia, el magma se expande y los gases escapan.
Los magmas se pueden clasificar según su composición, dependiendo de la cantidad de sílice (SiO2), la cual, varía desde 47% hasta 75%:

Cuadro N6: Tabla contenido de Sílice en Magma

CONTENIDO EN SÍLICE (SiO2)			
BASÁLTICO	ANDESÍTICO	DACÍTICO	RIOLÍTICO
47 - 52%	52 - 63%	63 - 70%	70 - 75%

Fuente: Sernageomin

Los magmas con una composición más baja en sílice, son de temperaturas más elevadas, densidades más altas y de mayor fluidez; por lo cual, al alcanzar la superficie, liberan los gases más fácilmente. Por el contrario, los magmas ricos en sílice son más viscosos y, por consiguiente, la liberación de gases es más dificultosa y violenta.

Nuestro país presenta más de 2.000 volcanes, más de 500 considerados geológicamente activos y unos 60 con registro eruptivo histórico, dentro de los últimos 450 años, incluyéndose episodios menores y/o simples reactivaciones del sistema hidrotermal, lo cual estima que en Chile ocurre una erupción significativa cada 8-10 años[3].

Geológicamente, un volcán es activo cuando existe evidencia de al menos un evento eruptivo en los últimos 10.000 años (Holoceno) o cuando, sin tener certeza de lo primero, se registran manifestaciones medibles de actividad como desgasificación, deformación del terreno o microsismicidad (Sernageomin, 2011).

Desde el punto de vista del riesgo para una sociedad, interesan los volcanes geológicamente activos, es decir, aquellos capaces de iniciar ciclos eruptivos en el futuro cercano

2.4.2 Volcanismo Regional

Volcán Tacora

- Ubicado cerca del límite con Perú, es el volcán más septentrional del país, sus coordenadas geográficas son 17°43’02’’S 69°46’41’’O.
- Altura: 5.980 msnm El cono se encuentra cubierto por glaciares a partir de la cota 5500m aprox. y posee un cráter en la ladera noroeste, a aprox. 300m bajo la cumbre.
- Su Fase de actividad: Volcán **Activo.** Campo fumarólico en el flanco nor-oeste (emisión CO_2, H_2S y SO_2) Hantke (vulcanólogo alemán con varias publicaciones en vulcanología) cita erupciones en los años 1930 y 1937.
- Tipo de volcán (según su erupción): Estratovolcán

Estratovolcán cónico compuesto por lavas y domos, intercalados con depósitos de flujos piroclásticos, de composición dacítica con andesitas subordinadas, las que son típicamente porfíricas y ricas en anfíbolas (González-Ferrán, 1995). Este volcán estaría activo al menos desde el Pleistoceno Medio (ca. 720 ka; Clavero et al., 2006a). El edificio se encuentra erosionado por glaciares y no presenta un cráter central evidente, aunque se ha reportado un

[3] Volcanes de la Región de Arica y Parinacota, Sernageomin 2011

cráter de explosión en las inmediaciones de la cima hacia el noroeste (González-Ferrán, 1995). Lavas del flanco superior oeste han sido datadas en ca. 50 ka (Clavero et al., 2006a). Un depósito de avalancha de detritos volcánicos se emplaza hacia el sur del volcán, lo que dejó un anfiteatro de colapso (Clavero et al., 2006a). El volcán presenta desgasificación pasiva continua en forma de fumarolas de baja temperatura, consistente en CO2 y SO2 principalmente, y acompañada de actividad sísmica (Clavero et al., 2005), las que se concentran en el sector este del cráter. Capaccioni et al. (2011) sugieren que la descarga fumarólica refleja desgasificación magmática en profundidad. Reportes no confirmados sugieren actividad eruptiva en 1930 y 1937 (Simkin y Siebert, 1994), y en 1950 (Petit-Breuilh, 2004).

Complejo Volcánico Payachatas

Volcán Parinacota

- Ubicado en el límite con Bolivia, coordenadas geográficas 19°9’48’’S 69°8’34’’O
- Altura: 6.348 msnm
- Fase de actividad: Volcán **Activo** altamente durante el Holoceno. Erupción con Colapso catastrófico del edificio volcánico entre 8 - 9 ka
- Últimos erupciones: explosiva ca. 250 años; lava ca. 1.6 ka.
- Tipo de volcán: Estratovolcán, es un tipo de volcán cónico y de gran altura, compuesto por múltiples capas de lava endurecida, piroclastos alternantes (surgidos por una alternancia de épocas de actividad explosiva y de corrientes de lava fluida) y cenizas volcánicas. Estos volcanes están caracterizados por un perfil escarpado y erupciones periódicas y explosivas. La lava que fluye desde su interior es altamente viscosa y se enfría y endurece antes de que pueda llegar lejos. La fuente de magma de estas montañas está clasificada como ácida o alta en sílice, con presencia de **riolita, dacita y andesita**.

Estratovolcán cónico caracterizado por la emisión temprana de lavas-domo andesítico-silíceas a riolíticas, seguidas de lavas y depósitos de caída andesítico-silíceos, y por una fase actual de lavas, flujos piroclásticos, depósitos de caída andesítico-basálticos a dacíticos y depósitos laháricos (Clavero et al., 2006b). Los productos de su actividad inicial se remontan al Pleistoceno Superior (163 ka; Hora et al., 2007). La cima del volcán se caracteriza por un cráter bien definido de 500 m de diámetro y de ca. 100 m de profundidad. Contemporáneos a la última etapa del volcán se generaron una serie de conos piroclásticos en los flancos suroeste y oeste, llamados volcanes de Ajata, desde los cuales fueron emitidas lavas andesítico-basálticas y cuya ultima actividad se dató en 1.385 ± 350 a AP (Wörner et al., 2000). Se estima que hace 10 – 20 ka el edificio volcánico colapsó parcialmente hacia el oeste, generando un depósito de avalancha de detritos con un volumen cercano a los 6 km3 (Clavero et al., 2004a; Hora et al., 2007). El depósito piroclástico más reciente presenta una edad menor a 0,2 ka AP (Clavero et al., 2004a). A pesar de la buena conservación de los depósitos recientes, no existe registro histórico de actividad eruptiva. No obstante, leyendas indígenas implican actividad eruptiva (Clavero et al., 2004a). Su actividad durante el Holoceno ha estado caracterizada por la generación de numerosas erupciones sub-Plinianas, con flujos piroclásticos dirigidos hacia todos los flancos del volcán. Es probable, además, que erupciones futuras sean generadas a través de centros eruptivos adventicios (Clavero et al., 2006b). La existencia de un casquete casi permanente de nieve y hielo sobre los 5500 m snm puede gatillar la generación de lahares durante una erupción.

Volcán Pomerape

- Ubicado al norte del Volcán Parinacota en las coordenadas 18°7’35’’S 69°7’42’’O

- Altura: 6.282 msnm
- Fecha de erupción: concentró toda su actividad en el Pleistoceno Superior (300-200 ka)
- Tipo de volcán: estratovolcanes compuestos, es un tipo de volcán cónico y de gran altura, compuesto por múltiples capas de lava endurecida, piroclastos alternantes (surgidos por una alternancia de épocas de actividad explosiva y de corrientes de lava fluida) y cenizas volcánicas.1 Estos volcanes están caracterizados por un perfil escarpado y erupciones periódicas y explosivas. La lava que fluye desde su interior es altamente viscosa y se enfría y endurece antes de que pueda llegar lejos. La fuente de magma de estas montañas está clasificada como ácida o alta en sílice, con presencia de **riolita, dacita y andesita**.

Volcán Guallatiri

- Ubicado en el centro más austral de la cadena de los Nevados de Quimsachata, sus coordenadas geográficas son 18°25'24''S 69°5'13''O
- Altura: 6.071 msnm
- Fase de actividad: Volcán **Activo**. Pequeñas erupciones durante el siglo XIX y principios del XX, actualmente presenta campo fumarólico.
- Tipo de volcán (según su erupción): Estratovolcán, ha evolucionado en dos etapas eruptivas, la más joven de las cuales es holocena. Esta actividad holocena ha estado caracterizada, esencialmente, por la emisión de lavas y domos de composición **dacítica.**

Complejo volcánico caracterizado por una sucesión de domos de composición andesítico-silícea a dacítica, lavas-domo, depósitos piroclásticos de bloques y ceniza, y depósitos de caída, que se encuentra activo desde el Pleistoceno Medio (ca. 710 ka; García et al., 2004). En la parte alta del edificio se observa un domo dacítico que habría sufrido una explosión de tipo freatomagmática, construyéndose sobre él un estratocono central de lavas andesíticas que presenta derrames lávicos hacia el norte, noroeste y oeste (de Silva y Francis, 1991; González-Ferrán, 1995). Depósitos piroclásticos de caída se han distribuido principalmente hacia el sur y este del volcán (García et al., 2004). Watts (2002) dató un domo de flanco en la parte sur del volcán en 5,1 ± 3,0 ka. Existen numerosos reportes de actividad eruptiva durante los últimos dos siglos, de los cuales la erupción de 1960 sería la última confirmada (Casertano, 1963). En la actualidad se caracteriza por desgasificación pasiva intensa concentrada en un grupo de fumarolas en las inmediaciones de la cumbre y en el flanco sur (GVN, 16:05).

Complejo Volcánico Nevados de Putre

Volcán Taapaca

- Ubicado cerca de la localidad de Putre, en el borde occidental del Altiplano, sus coordenadas geográficas son 18°6'26''S 69°30'38''O
- Altura: 5.850 msnm
- Fase de actividad (según la intensidad de su actividad): Volcán **Activo**. Último ciclo eruptivo habría ocurrido hace cerca de 2000 años. Productos volcánicos más recientes se han dirigido hacia el SW. Lo que lo hace el más peligroso del norte de Chile.

- Tipo de volcán (según su erupción): Volcán complejo, también conocido como volcán compuesto, es un volcán con más de una característica. Se forman debido a cambios de sus características eruptivas o la ubicación de orificios múltiples en un área. Un Estratovolcán puede formar volcanes complejos, ya que se pueden superponer erupción explosiva, lava, flujo piroclástico y por erupciones repetidas, hacer múltiples cumbres y conductos de ventilación. Los Estratovolcanes también pueden formar una gran caldera que se llena por múltiples pequeños conos de ceniza, domos de lava y cráteres, también se pueden desarrollar en el borde de la caldera.

Complejo volcánico cuyos principales productos corresponden a lavas y domos dacíticos con sus depósitos piroclásticos de bloques y cenizas asociados; las dacitas son porfíricas con cristales de hornblenda y biotita, además de característicos megacristales de sanidina (Clavero et al., 2004b). Este complejo se encontraría activo desde el Pleistoceno Inferior (ca. 1,5 Ma; Clavero et al., 2004b). Se han reconocido frecuentes colapsos parciales del edificio, los que han generado avalanchas de detritos volcánicos, principalmente ligados a crecimientos de domos y explosiones dirigidas (Clavero y Sparks, 2005). Un depósito piroclástico ha sido datado en 2270 ± 60 a AP (Clavero et al., 2004b). Durante el Pleistoceno Superior – Holoceno se han producido al menos tres colapsos parciales de domos y flancos alterados por hidrotermalismo. Depósitos holocenos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas, de avalanchas de detritos volcánicos, de explosiones dirigidas y de lahares se distribuyen hacia el flanco suroeste del volcán (Clavero y Sparks, 2005), donde se emplaza Putre, el principal poblado del altiplano. La actividad eruptiva, que ha migrado 4 a 5 km en dirección suroeste en los últimos 1,5 Ma, ha estado restringida a periodos cortos separados por prolongadas etapas de quietud (Clavero y Sparks, 2005). No se conoce actividad eruptiva histórica.

Volcán Arintica

- Está ubicado en el borde noroccidental del salar de Surire, en los 18°45’12’’S 69°2’58’’O
- Altura: 5.597 msnm
- Fase de actividad : Volcán **Inactivo**
- Tipo de volcán (según su erupción): Corresponde a un estratovolcán formado principalmente por lavas y lavas-domo de composición andesítica a dacítica. La lava que fluye desde su interior es altamente viscosa y se enfría y endurece antes de que pueda llegar lejos. La fuente de magma de estas montañas está clasificada como ácida o alta en sílice, con presencia de **riolita, dacita y andesita**.

Estratovolcán compuesto principalmente por lavas andesíticas, cuyo cráter y flancos no se encuentran bien preservados. Forma parte de un complejo volcánico mayor compuesto por domos dacíticos y un estratovolcán aledaño andesítico-dacítico (de Silva y Francis, 1991; González-Ferrán, 1995). Wörner et al. (2000) obtuvo edades de 0,637 ± 0,019 Ma y 0,486 ± 0,015 Ma en lavas andesíticas y dacíticas, respectivamente. Se ha postulado que desde el borde sureste del cráter central se emitieron lavas andesíticas de probable edad holocena (e.g. de Silva y Francis, 1991), aunque estudios posteriores sostienen que dichas unidades corresponderían a glaciares de roca (Payne, 1998). No se conoce actividad eruptiva histórica.

2.4.3 Clasificación de Volcanes:

Dependiendo del tipo de magma, la conducta eruptiva varía considerablemente.

Cuadro Nº 7: Clasificación conducta Eruptiva de Volcanes

	Basálticos	Andesíticos	Dacíticos	Riolíticos
Temperaturas	1.300ºC	1.150ºC	1.000ºC	900ºC
Viscosidad	Baja	Media	Alta	Muy alta
Fluidez	Muy alta	Media	Baja	Muy baja
Densidad	3 g/cm3	2,7g/cm3	2,6g/cm3	2,5g/cm3
Explosividad	Muy baja	Media	Alta	Muy alta

Fuente: Sernageomin

Los volcanes identificados como peligrosos (según categoría) dentro de la región de norte a sur son:

Cuadro Nº8: Categoría Peligrosidad de volcanes de la Región Arica y Parinacota

Volcán	Coordenada Oeste	Coordenada Sur	Categoría de Peligrosidad
Tacora	-69,775	-17,716	Baja
Taapacá	-69,512	-18,103	**Muy Alta**
Parinacota	-69,144	-18,165	Alta
Guallatire	-69,09	-18,419	Alta
Arintica	-68,982	-18,731	Baja

Fuente: Sernageomin, 2011

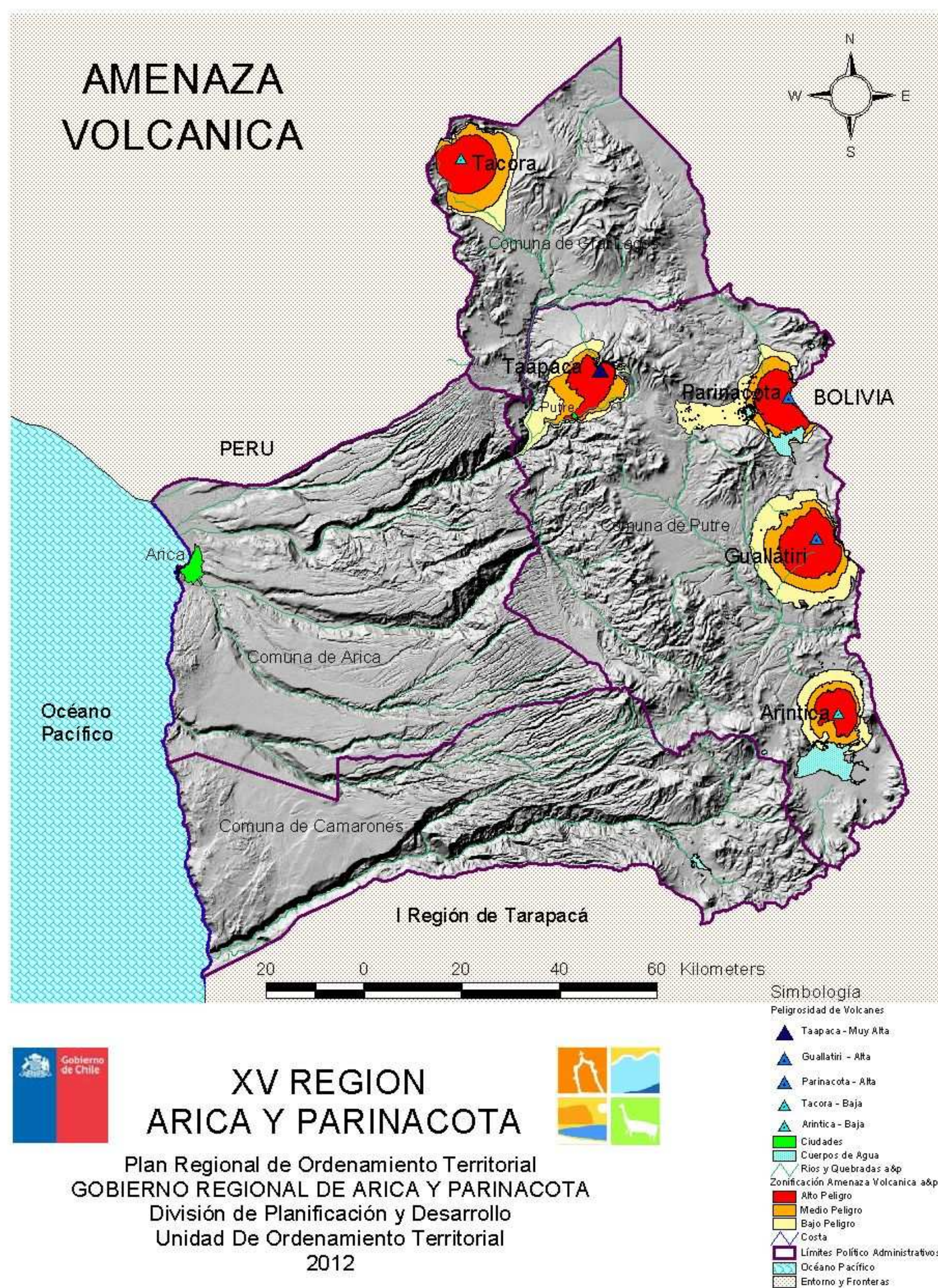
2.4.5 Mapa de Amenaza Volcánica

Un mapa de peligros volcánicos representa las áreas que se pueden ver afectadas por diferentes procesos.

Esta cartografía se realiza en base a que dicha representación tiene implícita solo una probabilidad de ocurrencia relativa, de un escenario frente a otro, pero no incluye un análisis de probabilidad de ocurrencia absoluta de los procesos mismos. En otras palabras, este mapa representa las áreas que serían afectadas si ocurre una erupción pero no aborda el problema de la probabilidad de ocurrencia de tal erupción. Para esto SERNAGEOMIN ha aportado antecedentes incorporados en el estudio en elaboración y edición denominado "Peligros Volcánicos de la Zona Norte de Chile" (2012), si bien este estudio no está concluido contiene un mapa escala 1/250000 de peligros proximales y distales que incluye los cinco volcanes considerados activos en la región el cual se usará como base para este estudio.

Este mapa no incluye las áreas afectas por la pluma de los Piroclastos finos o cenizas emitidos generalmente por erupciones de mayor magnitud las que podrían impactar zonas costeras de la región, si la erupción ocurre durante meses estivales, en que las condiciones de ventilación tienden al oeste, lo cual puede afectar la navegación aérea en especial la que conecta con Bolivia.

Figura Nº30: Ilustración Mapa de Amenaza Volcánica, Región de Arica y Parinacota



Fuente: Elaboración propia, en base información en elaboración de Sernageomin, 2012

2.5. AMENAZA POR INUNDACIÓN FLUVIAL

2.5.1 Información General:

Las inundaciones fluviales y los posibles efectos que estos fenómenos conllevan, pueden depender de varios aspectos, los que en conjunto, determinan el posible impacto que puede generar este fenómeno dentro de un determinado territorio y las potenciales repercusiones que deben afrontar las personas que se afectan con este suceso. Los denominados "aspectos", pueden ser meteorológicos (precipitación y temperatura) y también asociados a las características del terreno, como tipo y uso de suelo, tipo y distribución de la vegetación, litología, características de la red de drenaje, magnitud de las pendientes de la cuenca, obras realizadas en los cauces y otros. Además se pueden considerar otros aspectos, como las zonas en las que los ríos se estrechan o pierden profundidad, debido a la acumulación de limo y tierra que se produce en aquellas zonas.

Las inundaciones se pueden producir a causa de lluvias intensas o continuas, se pueden clasificar además por el mecanismo de generación de la inundación, siendo las pluviales aquellas que afectan lugares planos y de poco drenaje que se ven sometidos a abundante lluvia, ya sea intensa o extensa, casos como estos suceden en el altiplano en los sectores de bofedales; la otra clasificación corresponde a las inundaciones fluviales estas son las que sobrepasan el volumen máximo de transporte del río desbordando el cauce e inundando los terrenos circundantes. Dichas inundaciones generan distorsiones en los suelos de las terrazas de los ríos y también a las personas que viven en los alrededores de éstos, donde dichas inundaciones, afectan no solo su bienestar, sino que también sus bienes e infraestructura; esta situación se produce en nuestra región en las épocas estivales en que se dan las precipitaciones en las zonas altas al oriente de la región y que luego escurren en abundancia hacia el oeste por las quebradas.

Factores Climáticos de la Región

Dentro del estudio de inundación fluvial, también fue necesario observar las características climáticas de la región, ya que es importante conocer cuál es el principal régimen de precipitaciones que favorece las crecidas de los ríos en la región, los que pueden ocasionar posibles inundaciones.

El clima varía según la altitud. En la costa y hasta los 800 m.s.n.m prima el desierto costero, entre los 800 y 2.200 m.s.n.m se presenta el desierto como tal con altas fluctuaciones térmicas y la casi inexistencia de precipitaciones, sobre los 2.200 m.s.n.m se producen precipitaciones cercanas a los 50 mm, alcanzando incluso los 400 mm en altitudes sobre los 4.500 m.s.n.m.

- <u>Clima desértico con nublados abundantes</u> (BWn). Se presenta en todo el sector costero de la región, caracterizándose por la nubosidad estratocumuliforme de limitado espesor que se presenta en horas de la noche disipándose en el transcurso de la mañana. Esta nubosidad se manifiesta como nieblas o camanchacas en sectores ubicados en el nivel de la capa de nubes, cuando las masas húmedas procedentes del mar chocan con la cordillera de la Costa ascendiendo bruscamente y produciendo la condensación de la humedad en pequeñas gotitas. Otra característica de este clima es la escasa diferencia entre las temperaturas extremas diarias así como entre los meses más cálidos y más fríos, que sólo alcanza a unos 6º a 7º C; la relativamente alta

humedad y las **casi inexistentes precipitaciones** alcanzan 1,1 mm.

- Clima desértico normal (BW). Este clima se presenta por sobre los 1000 m, en la zona denominada la Pampa de la primera región. Está caracterizado por una masa de aire muy estable y seca que origina una gran aridez, **cielos despejados todo el año**, una humedad atmosférica baja y una alta oscilación térmica diaria que puede llegar a unos 25º C por ejemplo en la Pampa del Tamarugal, debido al gran enfriamiento nocturno, que en algunos sectores produce mínimas cercanas a 0º C. Las precipitaciones pueden alcanzar entre los 22 mm (Instituto de Investigaciones Agropecuarias [INIA], 1989) y 30 mm anuales (Abele, 1981).

- Clima de desierto marginal de altura (BWH). Este clima se presenta en las zonas próximas a la cordillera por encima de los 2.000 m de altura. Esta zona se ve caracterizada por una masa de aire inestable que por efectos de la altura produce nubosidad de desarrollo vertical que da origen a **precipitaciones durante casi todos los veranos**. Si bien no son tan abundantes como para eliminar la característica desértica, crean condiciones para la existencia de una incipiente vegetación estacional, estas precipitaciones ascienden hasta 200 mm. Las temperaturas muestran un régimen relativamente frío, con un promedio no superior a los 10º C.

- Clima estepa del altura: Este clima se presenta por sobre los 3.500 m, elevación tal que las temperaturas medias no sobrepasan los 5º C y produce una gran amplitud térmica entre el día y la noche. Las **precipitaciones más importantes ocurren en las tardes de verano**, son de origen convectivo, provenientes de nubosidad producida por el ascenso de masas de aire cargadas de humedad por la ladera oriental de los Andes, provenientes de la cuenca amazónica y del Atlántico. Las precipitaciones alcanzan cerca de los 300 mm (Abele, 1981) en algunos sectores superan los 400 mm al año pero disminuyen hacia el sur. La humedad relativa en general es baja.

(Fuente: Dirección Metereológica de chile - http://www.meteochile.gob.cl/climas/climas.html)

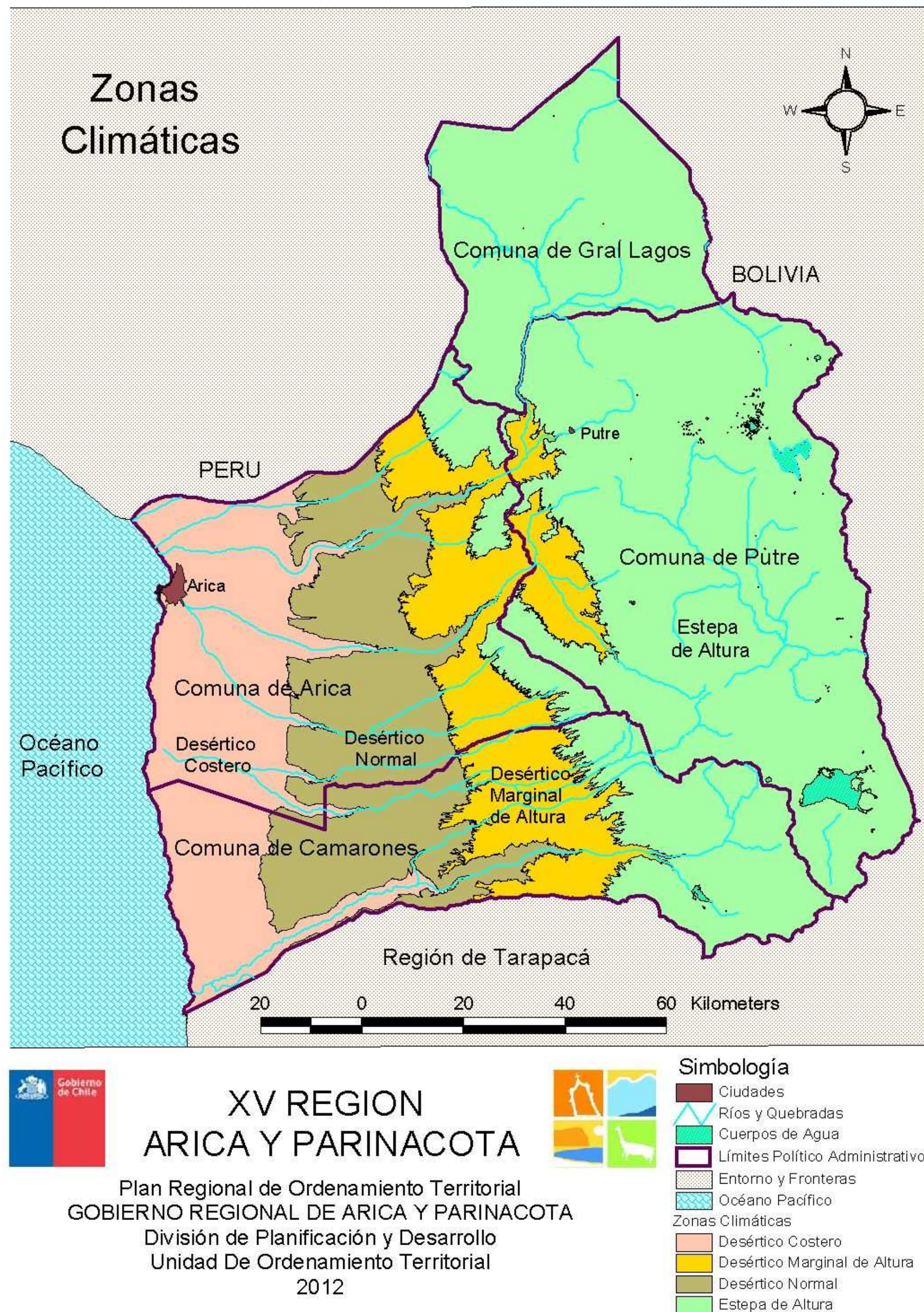
En esta región actualmente todos los años puede contarse con algunas lluvias aunque su monto no es suficientemente grande como para borrar el desierto, principalmente por la baja humedad relativa, con un promedio anual de 27%. La estación con más humedad relativa es el verano, en el cual se observa un 35%. Se debe agregar aún la gran limpieza del cielo: 266,1 días al año, en promedio son sin nubes. Las lluvias son estivales en un 90% presentándose precipitaciones de escasa importancia en el resto del año.
La temporada de lluvias en la parte alta se distribuye de diciembre a marzo, en que precipita casi el 98 % del total anual. Esta temporada es conocida como “Invierno Altiplánico” o “Invierno Boliviano”.

Si bien en la región predomina el clima desértico, en el sector precordillerano y cordillerano existe un tipo de clima, caracterizado por la presencia de lluvias estivales, las que durante las épocas de verano, abastecen de agua los ríos existentes en la región, generando así un aumento del caudal significativo, como es el caso de los ríos Lluta y San José principalmente, los cuales durante los meses estivales aumentan sus caudales, aportando grandes cantidades de agua al mar. Si bien el río Lluta presenta un escurrimiento permanente durante todo el año, solo en los meses de Enero y Febrero es cuando el caudal aumenta de manera considerable, por lo que es en estos periodos, donde el río representa una amenaza, ya que puede generar grandes inundaciones, situación que depende principalmente de la cantidad de agua precitada. El Rio San José, a diferencia del río Lluta, no presenta un escurrimiento permanente,

ya que solo desemboca en el mar en épocas estivales, situación que también está condicionada a la cantidad de agua precipitada y a la canalización y uso en regadío agrícola del valle de Azapa.

Según la clasificación de la dirección Metereológica de Chile, los tipos de clima existentes en la región son los que se muestran en el siguiente mapa:

Figura Nº31: Ilustración Mapa de Zonificación Climática



Fuente: Elaboración propia en base a IGM y Dirección Meteorológica de Chile, 2012.

Jerarquización de Drenes

Para el análisis de inundación fluvial, no solo es necesario conocer el patrón de drenes que presenta la red hídrica de la región, sino que también es necesario jerarquizar dichos drenes, con la finalidad de identificar las ramificaciones que puede tener una red hídrica.

Para la región de Arica y Parinacota, y respecto a la jerarquización de drenes realizada mediante la metodología de Strahler, se menciona que la red hídrica regional tiene drenes hasta de 4to orden. A pesar de ello, no todas las cuencas presentan la misma característica, ya que solo dos de las siete existentes en la región presentan este comportamiento. En el cuadro siguientes se puede observar la jerarquización realizada para cada una de las cuencas de la región, indicándose el numero de drenes y el porcentaje al cual equivalen dichos drenes, respecto del total de drenes por cuenca.

Cuadro N°9: Tabla Jerarquización de drenes, Región de Arica y Parinacota

Cuenca de Cosapilla		
Orden de Drenes	**N° de drenes**	**Porcentaje**
1° Orden	29	66%
2° Orden	15	34%
Cuenca Río Lluta		
1° Orden	71	55%
2° Orden	34	27%
3° Orden	9	7%
4° Orden	14	11%
Cuenca Lauca		
1° Orden	47	58%
2° Orden	18	22%
3° Orden	16	20%
Cuenca San José		
1° Orden	22	56%
2° Orden	10	26%
3° Orden	4	10%
4° Orden	3	8%
Cuenca Vitor		
1° Orden	6	60%
2° Orden	4	40%
Cuenca Camarones		
1° Orden	21	52%
2° Orden	12	30%
3° Orden	7	18%

Cuenca Surire		
1° Orden	10	56%
2° Orden	8	44%

Fuente: Elaboración Propia, 2011

Del cuadro, se puede observar que solo las cuencas del Río Lluta y San José, son las que presentan drenes de 4° orden, coincidiendo dicha jerarquización de los ríos Lluta y San José, con ser los más importantes afluentes de la región y los que en temporadas estivales presentan mayores caudales debido al aporte de agua generado por las lluvias altiplánicas.

Patrones de Drenaje

Los patrones de drenaje dependen de varios factores, como las pendientes de las laderas y del área de drenaje, de la cobertura vegetal, de la litología, del caudal, de la permeabilidad del suelo, del nivel e intensidad de las lluvias y de la actividad estructural.

Como se mencionó anteriormente, dentro de la inundación fluvial es necesario, considerar algunos aspectos, como las características de drenaje de las cuencas. Los patrones de drenaje son la forma de cómo una red hídrica se aprecia en un área determinada, en este caso en una cuenca o subcuenca, debido al efecto erosivo que genera sobre el suelo. Los canales de drenaje forman una red, la que recoge las aguas de toda la cuenca, vertiéndola sobre un río principal.

Una vez identificado los principales patrones de drenaje existentes, es posible señalar el tipo de patrón que presentan las principales cuencas de la región, las que contienen los distintos cursos superficiales de agua que existen en la región, ya sean permanente o intermitentes. (Ver figura N°x). En el cuadro N°x, se puede observar la clasificación según patrón de drenaje establecida para cada una de las cuencas.

Patrón de drenaje dendrítico: Son pequeños cursos de agua, que se caracterizan por ser irregulares, cortos y que andan en todas direcciones. Estos cursos de agua cubren áreas amplias y llegan al río principal formando cualquier ángulo, se forman con la interacción de todos o algunos de los siguientes factores:

- Litología con baja permeabilidad
- Mediana pluviosidad
- Poco caudal
- Baja cobertura vegetal
- Zonas de inicio de ladera
- Pendientes moderadas
- Laderas bajas
- Rocas con resistencia uniforme
- Zona litológicamente muy alterada

La existencia de red dendrítica indica un subsuelo homogéneo y se desarrolla en:

- Sedimentos sueltos con superficies homogéneas como arena, limo y arcilla.
- Rocas cristalinas y metamórficas, que no son afectadas por zonas de fallas.
- Rocas sedimentarias horizontales o poco inclinadas, no fracturadas o diaclasadas.

- Rocas masivas, resistentes con respecto a la erosión, en regiones áridas.

La densidad de los cursos de agua de una red dendrítica depende de las precipitaciones y del escurrimiento (infiltración).

- Una red dendrítica fina, se desarrolla en un subsuelo relativamente impermeable y poco resistente con respecto a la erosión (en arcillas, arenas finas).
- Una red dendrítica gruesa se desarrolla en areniscas de grano grueso, de alta permeabilidad, en rocas intrusivas de grano grueso no fracturadas o solo ligeramente fracturadas, en regiones húmedas en carbonatos y dolomías, donde el agua se infiltra el subsuelo.

Patrón de drenaje Paralelo: Son redes hídricas paralelas y definidas por la pendiente. Cuanto mayor es la pendiente en una dirección, mayor y más paralelos serán las redes hídricas.

Se presenta cuando varias corrientes corren paralelas entre sí, sin importar el orden o la importancia en el conjunto total de tributarios. Estos patrones se observan en las siguientes condiciones:

- En pendientes altas
- Cuando hay algún tipo de control topográfico o estructural
- Materiales con baja permeabilidad
- Pendientes moderadas entre sí
- Baja cobertura vegetal
- Caudales cortos

Cuadro N°10: Tabla Clasificación de Patrón de Drenaje por cuenca

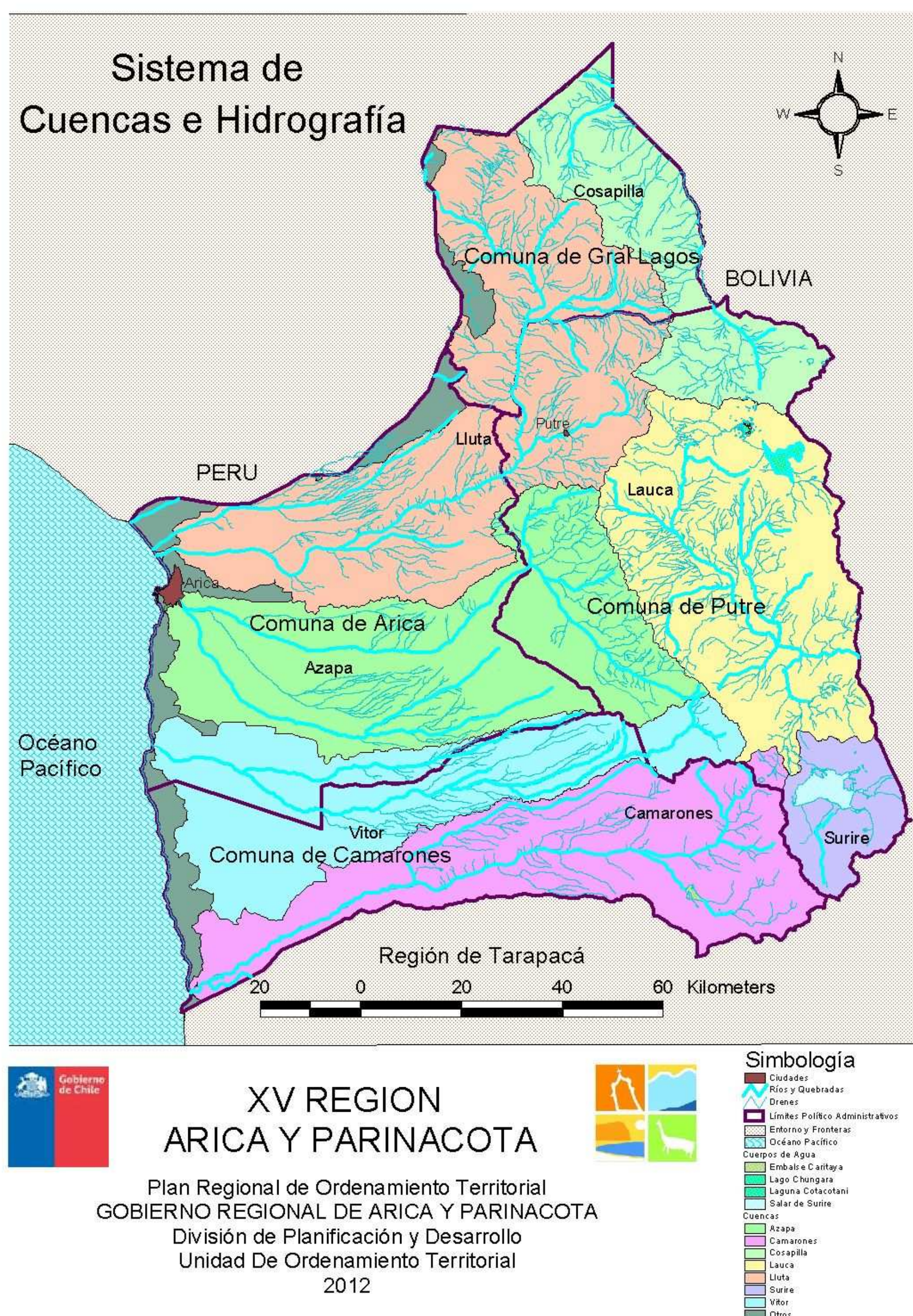
Nombre de cuenca	Patrón de Drenaje
Lluta	Dendrítico
San José	Paralelo
Vitor	Paralelo
Camarones	Paralelo
Cosapilla	Dendrítico
Lauca	Dendrítico
Surire	Dendrítico

Fuente: Elaboración Propia, 2011

Red Hídrica Regional y Principales Cuencas

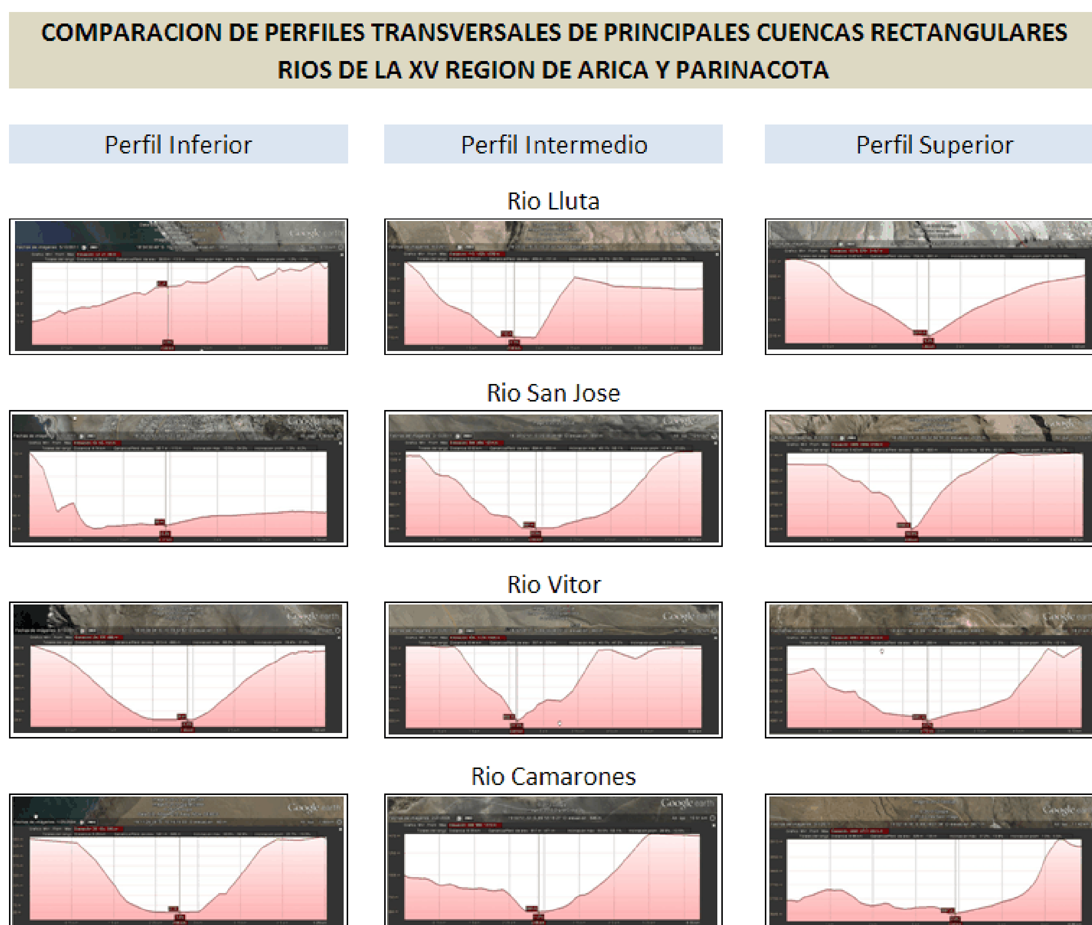
En la región podemos identificar siete Cuencas, cuatro de las cuales desembocan en el litoral del Océano Pacifico y las otras tres escurren hacia la frontera oriental con Bolivia.

Figura N°32: Ilustración Mapa de Cuencas Hidrográficas XV Región



Fuente: Elaboración Propia en base a DGA, 2012

Figura N°33 : Comparación de perfiles transversales de cuencas



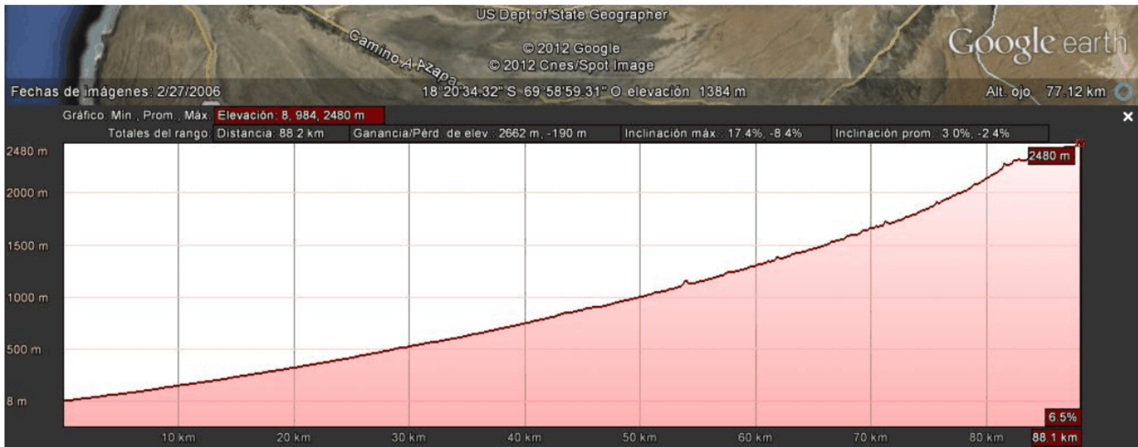
Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

Cuenca Río Lluta

De la cuenca del río Lluta se puede mencionar, que la cuenca recorre tres zonas climáticas. La cuenca del Río Lluta se extiende desde los 0 a los 4.200 msnm aprox. y la distancia que recorre el cauce es de 157 km app. Muestra un brusco ascenso entre los 3.000 a los 3.800 msnm, lo cual nos indica que esa área tiene una mínima posibilidad de ser inundada, a diferencia del área inferior a los 750 msnm la cual nos muestra un recorrido del cauce más largo (0 a 1.000 msnm distancia de 50 km), en relación a lo anterior, el perfil transversales en el cauce inferior del Río Lluta muestra un ancho de más de un kilometro sin una importante variación altitudinal, lo cual los indica que es propenso a inundación fluvial ocupando las terrazas fluviales y mínima remoción en masa. En cuanto al curso medio, este es estrecho lo cual lo hace fácilmente inundable. El curso superior presenta un ancho aproximado de un km con un perfil longitudinal sobre los 3.800 msnm de muy baja pendiente, lo cual lo hace fácilmente inundable y con baja probabilidad de remoción en masa. En cuanto a los suelos de la cuenca, considerando que en la región no existen condiciones climáticas (de actividad biológica), que favorezcan el desarrollo de los suelos, estos se presentan delgados y de escasa fertilidad natural. En general los suelos corresponden a suelos áridos (entisoles), con presencia de suelos desérticos grises en la parte alta y media de la cuenca, y suelos rojos desérticos en zonas de la parte baja. El valle presenta sectores en los cuales los suelos son medianamente a muy profundos, sin embargo, presentan limitaciones severas asociadas a problemas de drenaje.
Estudios realizados por La Universidad de Chile y la Universidad Arturo Prat (1983), señalan

que el volumen medio anual de agua interceptado por la cuenca es de 466,7 millones de metros cúbicos. Las mayores pérdidas de agua se producen por evapotranspiración de bofedales (13,25 millones de m^3), cultivos anuales (9,75 millones de m^3) y praderas (14 millones de m^3), estimándose una descarga media anual al mar de 16,2 millones de m^3.

Figura Nº 34: Perfil Longitudinal Rio Lluta



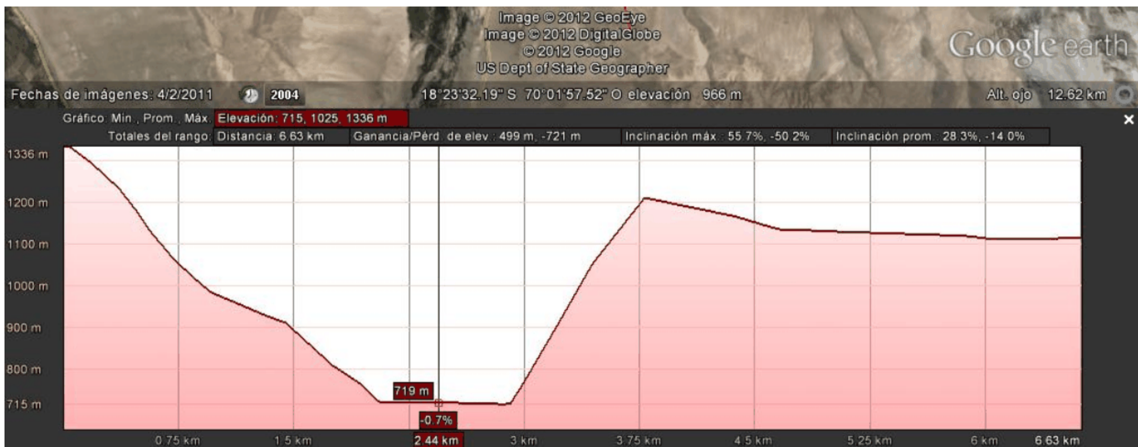
Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

Figura Nº35: Perfil Transversal Inferior Rio Lluta



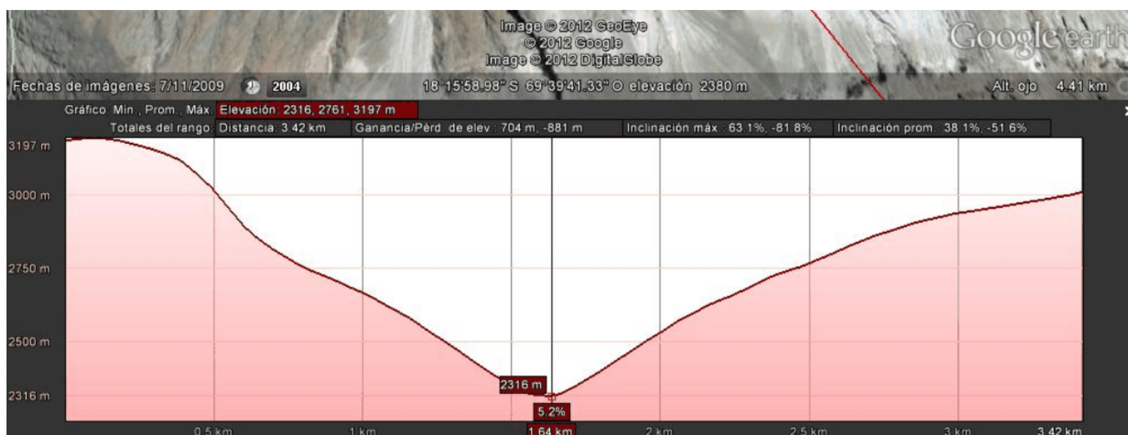
Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

Figura Nº36: Perfil Transversal Intermedio Rio Lluta



Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

Figura Nº37: Perfil Transversal Superior Rio Lluta

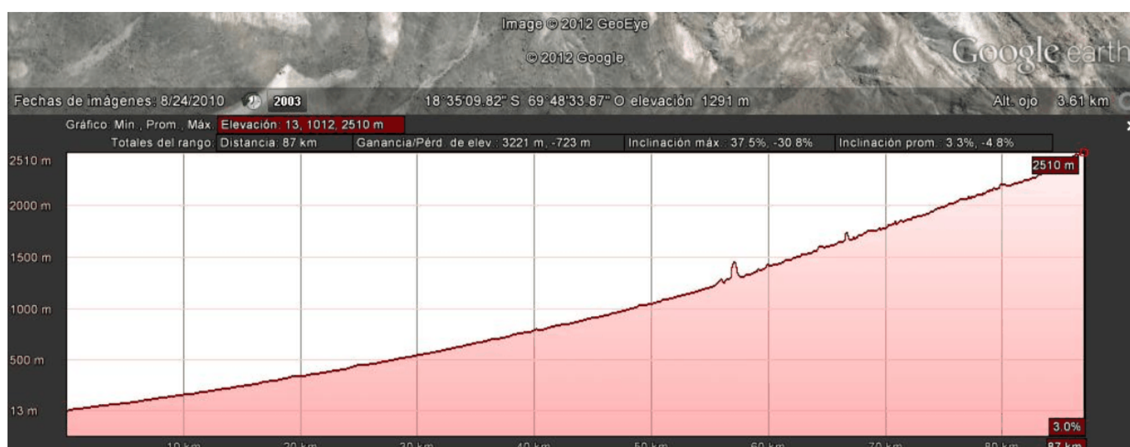


Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

Cuenca Río San José

De la cuenca del río San José, basándose en la clasificación climática, se puede decir que toda la cuenca recorre tres zonas climáticas. La cuenca de San José se extiende desde los 0 a los 3.000 msnm, la distancia que recorre su cauce es de poco más de 80 km, a lo largo de su cauce mantiene una pendiente constante. Su curso Inferior posee un ancho de 600 m aproximadamente y fuertes pendientes lo que hace un área con características probable de inundación fluvial y de remoción en masa. Su curso medio posee una cuenca estrecha y pendiente fuerte la cual posee una alta probabilidad de inundación y deslizamiento. El curso superior es estrecho en su cauce (100 m de ancho app.), donde además en dos km de largo aumento 2.200 msnm, lo cual lo hace un área de alta pendiente, con alta probabilidad de remoción en masa e inundación fluvial. Se puede mencionar que posee una superficie total de 3.160 Km^2 y su altura media es de 2.413 m.s.n.m.
El aporte efectivo del agua proviene casi en su totalidad de la subcuenca del río Ticnamar, con una hoya de 870 Km^2, donde se encuentran las máximas alturas de la cuenca, en los cerros Belén y Chapiquiña que sobrepasan los 5.000 m.s.n.m., siendo en este sector donde se concentran las precipitaciones con un promedio de 200 mm anuales, fluctuando entre 578mm máximo (registrada en la estación de Belén el año 1953) y 6 mm mínimo anuales.
Gran parte de la cuenca hidrográfica del río San José corresponde a afluentes secos, como las quebradas del Diablo, de Hosyas y de Acha o Higueras. El más importante es la quebrada de Acha con 1.180 Km^2. Drena más de un tercio del total de la hoya del río San José. Se origina en las elevaciones de la Pampa de Oxaya, las que no superan los 3.500 m.s.n.m., uniéndose al río San José en el valle de Azapa, próximo a la ciudad de Arica.
La concentración de las precipitaciones es en los meses de verano (diciembre a marzo) coincidiendo con el fenómeno denominado “Invierno Boliviano”. La concentración de las precipitaciones en un período tan corto, las fuertes pendientes y la escasa capacidad de absorción del suelo, unidos dan como resultado crecidas en forma de aluviones, los cuales han provocado daños de consideración en el valle de Azapa y ciudad de Arica, en particular se produce perjuicios en el borde costero en lo concerniente a turismo.

Figura Nº38: Perfil Longitudinal Rio San José



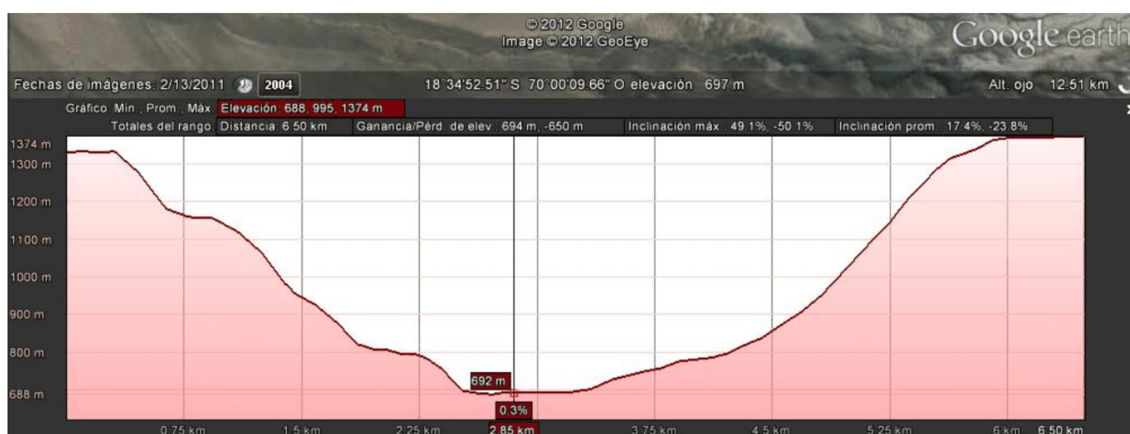
Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

Figura Nº39: Perfil Transversal Inferior Rio San José



Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

Figura Nº40: Perfil Transversal Intermedio Rio San José



Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

Figura Nº41: Perfil Transversal Superior Rio San José



Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

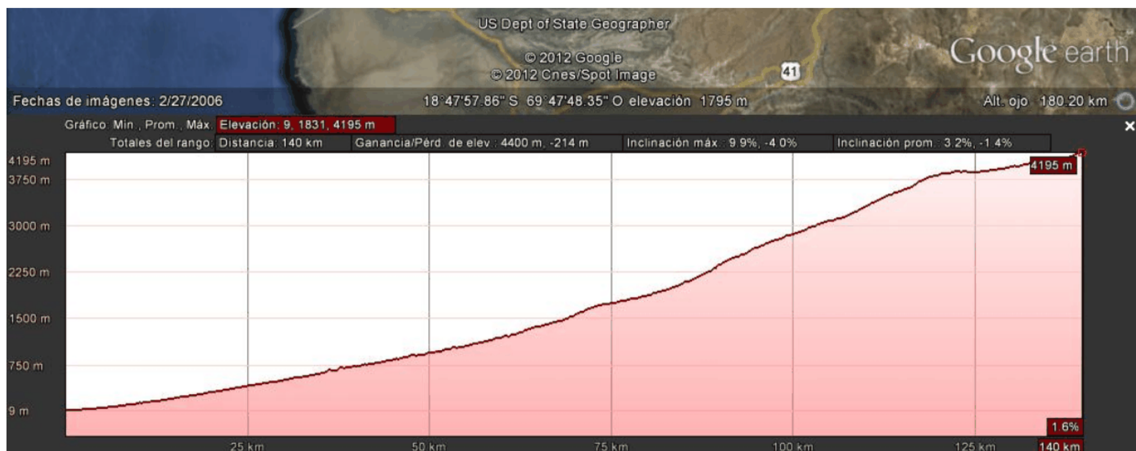
<u>Cuenca Rio Vitor</u>:

Rio esporádico, cuyo escurrimiento superficial se encuentra supeditado a la presencia de precipitaciones en la vertiente occidental de la Cordillera Central, al igual que los otros ríos mencionados también recoore tres zonas climáticas, tiene un escurrimiento semi permanente, pasa por el poblado de Codpa donde obtiene un mayor ancho generando zonas con cubierta vegetal con pequeña agricultura y luego riega ya en la zona baja el valle Chaca donde logra un mayor ancho con cubierta vegetal con cultivos un poco más extensos. Gran parte de su recorrido es sinuoso y estrecho con escasa cubierta vegetal. Se origina a 4195m de altura en fuentes ubicadas en las bases de volcanes extintos.

El Vítor drena una superficie de 2.241 km2.

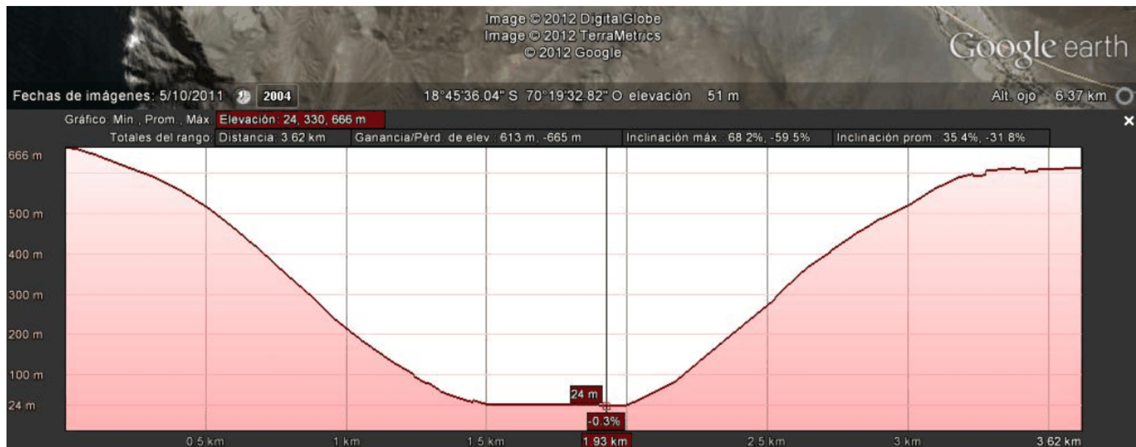
En temporadas de precipitaciones abundantes fluye hasta su desembocadura en Caleta Vitor donde se da una zona de cultivos también.

Figura Nº42: Perfil Longitudinal Rio Vitor



Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

Figura Nº43: Perfil Transversal Inferior Rio Vitor



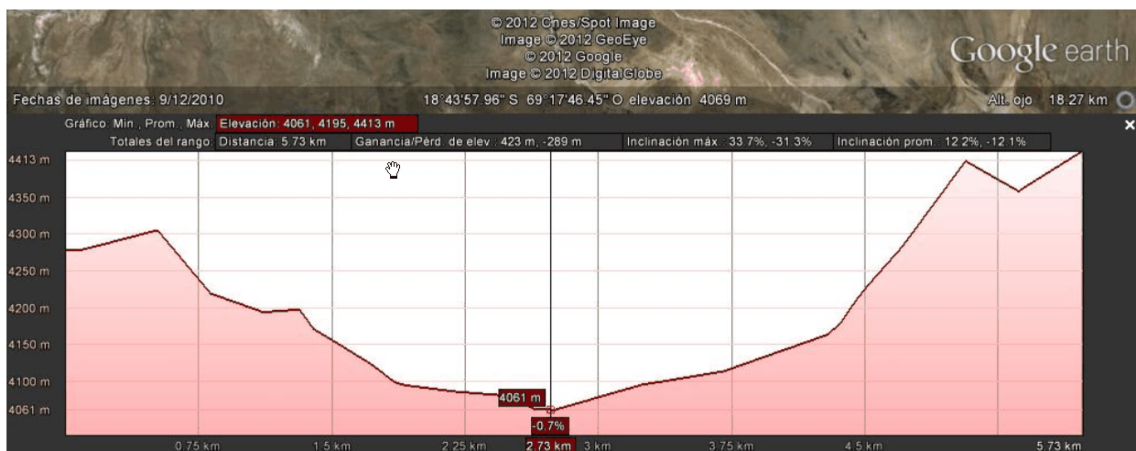
Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

Figura Nº44: Perfil Transversal Intermedio Rio Vitor



Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

Figura Nº45: Perfil Transversal Superior Rio Vitor

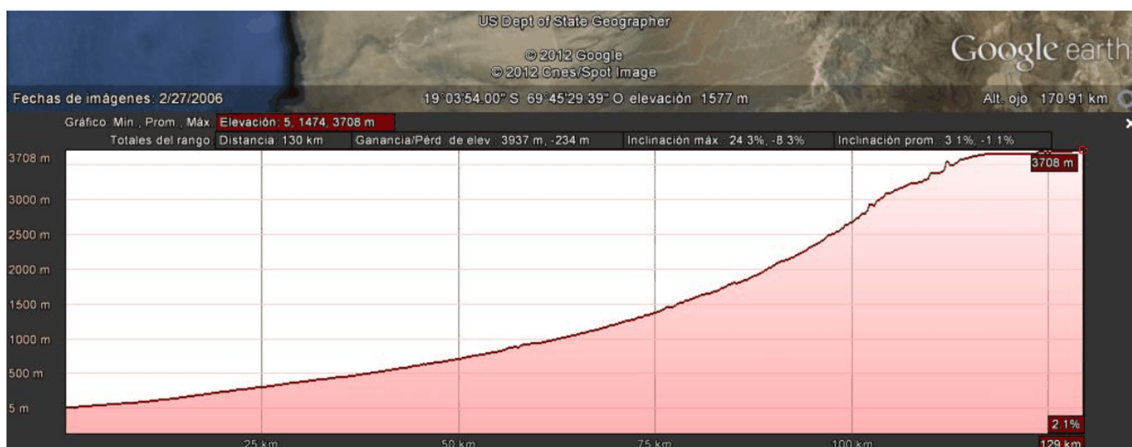


Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

Cuenca Río Camarones

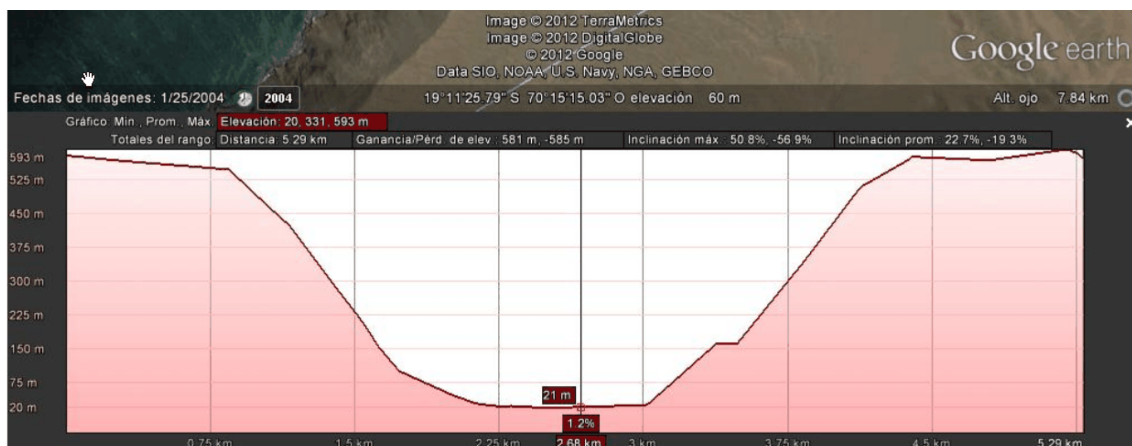
De la cuenca del río Camarones se puede mencionar, que la cuenca recorre tres zonas climáticas. La cuenca de Camarones posee una altitud que va desde los 0 a 3.708 msnm, posee una distancia aproximada de 130 km. En su curso inferior presenta un ancho de 1 km, siendo amplio pero con pendientes relativamente fuertes (cada 100m de distancia aumenta en 100 msnm de altitud), lo que hace poco probable su inundación pero con alta probabilidad de deslizamiento. El curso medio en los 1.200 msnm, presenta un estrecho cauce de pendiente irregular, alta probabilidad de inundación. El curso superior en los 3.400 msnm, presenta cauce estrecho ocupando y fuerte pendiente, posibilitando la inundación fluvial y las remociones en masa, sin embargo en sus inicios recorre una zona mas amplia, en la cual se ha generado un embalse para regular el flujo de sus aguas.

Figura Nº46: Perfil Longitudinal Rio San José



Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

Figura Nº47: Perfil Transversal Inferior Rio Camarones



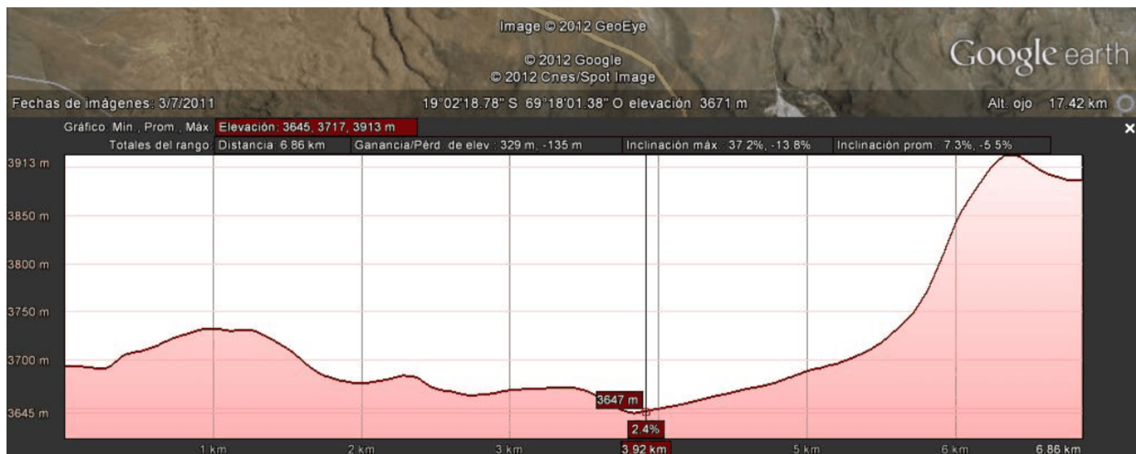
Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

Figura Nº48: Perfil Transversal Intermedio Rio Camarones



Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

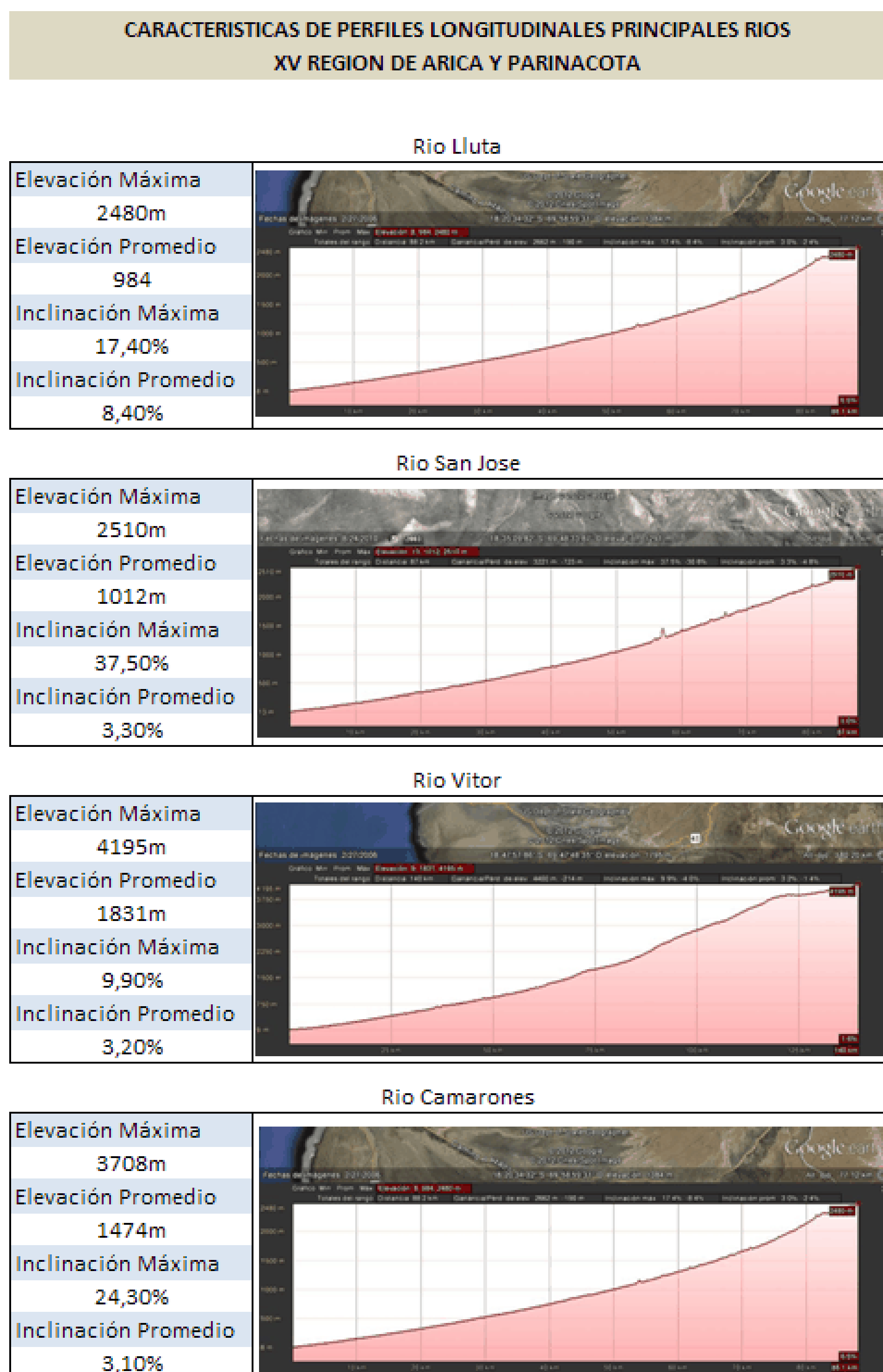
Figura Nº49: Perfil Transversal Superior Rio Camarones



Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

En el cuadro siguiente se puede apreciar comparativamente las pendientes de los principales ríos de la región, los datos para el Rio Lluta señalán que su inclinación promedio es la más fuerte con 8,4% mientras que los otros ríos fluctúan en 3,3% y 3,1%. El río San José presenta un sector en que se da una pendiente fuerte de 37,5% pero de muy poca extensión en el tramo intermedio superior, el Río Camarones también presenta una situación similar pero de menor inclinación máxima de 24,3%. El Río Vitor aún cuando presenta una pendiente promedio de 3,2% esta se debe en gran medida a que durante una buen parte de su extensión lo hace en forma bastante sinuosa, con cambios bastante cerrados de dirección.

Figura Nº50: Cuadro comparativo de pendientes de principales Ríos de la Región.



CARACTERISTICAS DE PERFILES LONGITUDINALES PRINCIPALES RIOS XV REGION DE ARICA Y PARINACOTA

Rio Lluta

Elevación Máxima	
2480m	
Elevación Promedio	
984	
Inclinación Máxima	
17,40%	
Inclinación Promedio	
8,40%	

Rio San Jose

Elevación Máxima	
2510m	
Elevación Promedio	
1012m	
Inclinación Máxima	
37,50%	
Inclinación Promedio	
3,30%	

Rio Vitor

Elevación Máxima	
4195m	
Elevación Promedio	
1831m	
Inclinación Máxima	
9,90%	
Inclinación Promedio	
3,20%	

Rio Camarones

Elevación Máxima	
3708m	
Elevación Promedio	
1474m	
Inclinación Máxima	
24,30%	
Inclinación Promedio	
3,10%	

Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

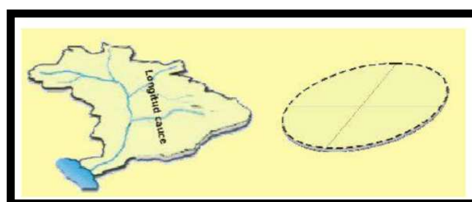
Coeficiente de compacidad

Dentro del estudio de cuencas, también es necesario conocer el coeficiente de compacidad de cada una de las cuencas existentes en la región. Este coeficiente se utiliza con la finalidad de idealizar la cantidad de escorrentía para un área e intensidad de lluvia es decir, KC se utiliza para determinar el riesgo de inundación que tiene la misma y en su función el riesgo de erosión

El coeficiente de compacidad es un número adimensional que varía con la forma de la cuenca. Cuanto más irregular la forma mayor su coeficiente. Este índice de compacidad o también conocido como el índice de Gravelius y es una relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia con la misma superficie de la cuenca. La razón para usar la relación del área equivalente a la ocupada por un círculo es porque una cuenca circular tiene mayores posibilidades de producir avenidas superiores dada su simetría.

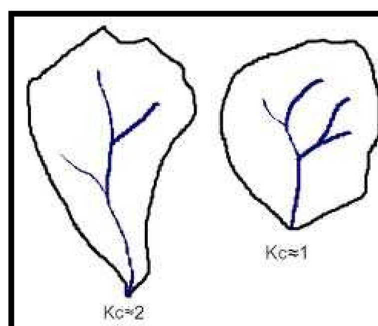
$$K_c = 0{,}282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:
P: es el perímetro de la cuenca
A: es el área de la cuenca



Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similaridad con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación (FAO, 1985):

Clase Kc1: Rango entre 1 y 1.25. Corresponde a forma redonda a oval redonda
Clase Kc2: Rango entre 1.25 y 1.5 Corresponde a forma oval redonda a oval oblonga
Clase Kc3: Rango entre 1.5 y 1.75 Corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga.



Este coeficiente tiene por definición un valor de uno (1) para cuencas imaginarias de forma circular. Entre más cercano a la unidad el valor de este coeficiente, es mayor la tendencia a concentrar grandes volúmenes de aguas de escurrimiento.

CuadroNº 11: Tendencias a las crecidas en función del KC

Forma de cuenca	Índice de compacidad	Tendencia a las crecidas
De casi redonda a oval redonda	De 1.00 a 1.25	Alta
De casi redonda a oval oblonga	De 1.25 a 1.50	Media
De oval oblonga a rectangular	De 1.50 a 1.75	Baja

En el siguiente cuadro se observa el coeficiente de compacidad para cada una de las cuencas existentes en la región.

CuadroNº 12: Definición de Cuencas en función del índice KC

Cuenca	Sup Km2	P Km	Kc	Forma
Cosapilla	1404 37.47	266	2	Rectangular
Lauca	2637 51.35	269	1.47	Oval redonda a oval oblonga
Rio Lluta	3739 61.15	461	2	Rectangular
San José	3066 55.37	359	1.8	Rectangular
Vitor	2241 47.34	361	2	Rectangular
Camarones	2426 49.25	378	2	Rectangular
Surire	562 23.71	115	1.3	Redonda a oval redonda

Fuente: Elaboración Propia, 2011

La determinación de forma geométrica dada por el factor KC se utiliza para determinar el riesgo de inundación que tiene la misma y en su función el riesgo de erosión. Por tanto, el índice de compacidad de la totalidad de las cuencas de las región de Arica y Parinacota es sobre 1, de manera que podemos considerar que las cuencas tiene una forma un tanto rectangular con índice de compacidad más alta, exceptuando la cuenca de Surire y Lauca, cuya forma tiende más bien a la ovalada por tanto un coeficiente más cercano a la unidad (1). En rigor, la explicación de la forma de la cuenca se traduce de la siguiente manera: cuanto más redonda es una cuenca mas tarda en llegar la onda a crecida a la desembocadura, con alta tendencia a la crecidas y a la inversa mientras más irregular o rectangular es la cuenca menos tarda en llegar la onda de crecida a la desembocadura. No obstante la forma redonda por tanto mas asimétrica permite una mayor crecida de la escorrentía

En síntesis las cuencas altiplánicas de la región correspondiente a la cuenca de Surire y Lauca tiene una mayor tendencia a la concentrar crecidas no obstante para el análisis y la determinación de este escenario se considera la intensidad de la precipitación (periodo) como también las características fisiografía –morfo métricas - de la cuenca, la cual no intensifican el vigor de las crecidas dado que estas cuencas se asientan en la zona altiplánica –llanura cordillerana de baja pendiente pero con alta permeabilidad del suelo, por lo cual las aguas superficiales infiltran a pisos subterráneos.

Para las cuencas Cosapilla, Lluta, San José, Vítor Y Camarones presentan un KC cercano a 2 caracterizada por la forma de la cuenca rectangular, lo cual indica irregularidad en su forma, de lo que se interpreta que dichas cuencas tienen poca tendencia a concentrar grandes crecidas con llegada menos tardía en la onda de crecida a la desembocadura. No obstante, la pendiente se hace presente a través de valles y quebradas dando intensidad a la escorrentía y a las crecidas, sumado a ello, que la condición de permeabilidad del suelo es otra, permitiendo mayor escorrentía superficial hacia la desembocadura de la red madre.

2.5.2 Eventos Históricos de Inundación

- 22.01.2008 - Aricaldia.cl ® 2007

Inusual Bajada de Río Acha: MOP Encauza Torrente a Río San José Para Evitar Cauce Natural Hacía Centro de Arica.

- 30.Junio.2001 - http://www.emol.com/noticias/nacional/detalle/detallenoticias.asp?idnoticia=59009

ARICA.- Interrumpido se encuentra el ferrocarril internacional Arica-La Paz debido a un aluvión que afectó a la zona precordillerana en la comuna de Visviri, Primera región, cuya causa podría haberse debido a la actividad del volcán Tacora, situado en la frontera con Perú.
El fenómeno dejó fuera de servicio el sistema bimodal y pone en serios aprietos al puerto de Arica que recibirá sólo la carga proveniente de los camiones desde Bolivia

- marzo del 2001 - http://www.cec.uchile.cl/~wwwphi/notimarzo.html

Gobierno toma medidas de emergencia:
CATASTROFE EN EL NORTE POR INVIERNO ALTIPLANICO
Daños que se estiman en alrededor de 6 mil millones de pesos y la inminente declaración -de Arica y Parinacota- como zona de catástrofe produjo la reciente crecida del río Lluta que rompió todos los registros históricos, aisló a la ciudad de Arica de Bolivia y Perú, países con los que sustenta gran parte de su actividad comercial y dejó incomunicados los sectores rurales de ambas provincias. El caudal destruyó los viaductos viales y ferroviarios, cinco puentes e interrumpió tres carreteras en la I región de Tarapacá; y además obligó a suspender los vuelos comerciales.

- 03 de Julio, 2011 22:07 (http://www.elmorrocotudo.cl/noticia/sociedad/inusual-lluvia-en-arica-activa-plan-de-emergencia-por-posibles-damnificados)

Inusual lluvia en Arica activa plan de emergencia por posibles damnificados y cierran paso fronterizo Chungará por la intensa nevazón. Continua el monitoreo de la región, dado que el frente se podría extender hasta mañana.
Por Christian Díaz ...4,399 Lecturas
7 Comentarios 12:00 horas: Tránsito suspendido en ruta 11CH. Información recabada a través de Carabineros del Retén Poconchile, indican que la carretera internacional Arica-Tambo Quemado se encuentra cortada en el kilómetro 69. Además, ambos badenes de la ruta se encuentran con agua y barro (del 60 al 70 aprox). Personal de vialidad realizará trabajos en el sector desde las 9 am aprox. Se espera que el tránsito se reanude tipo medio día.

Solo se cuenta con información geo-referenciada de la Dirección de Vialidad del MOP de lugares que han sido afectados por inundación fluvial, los cuales se han incorporado en el mapa temático que se presenta a continuación:

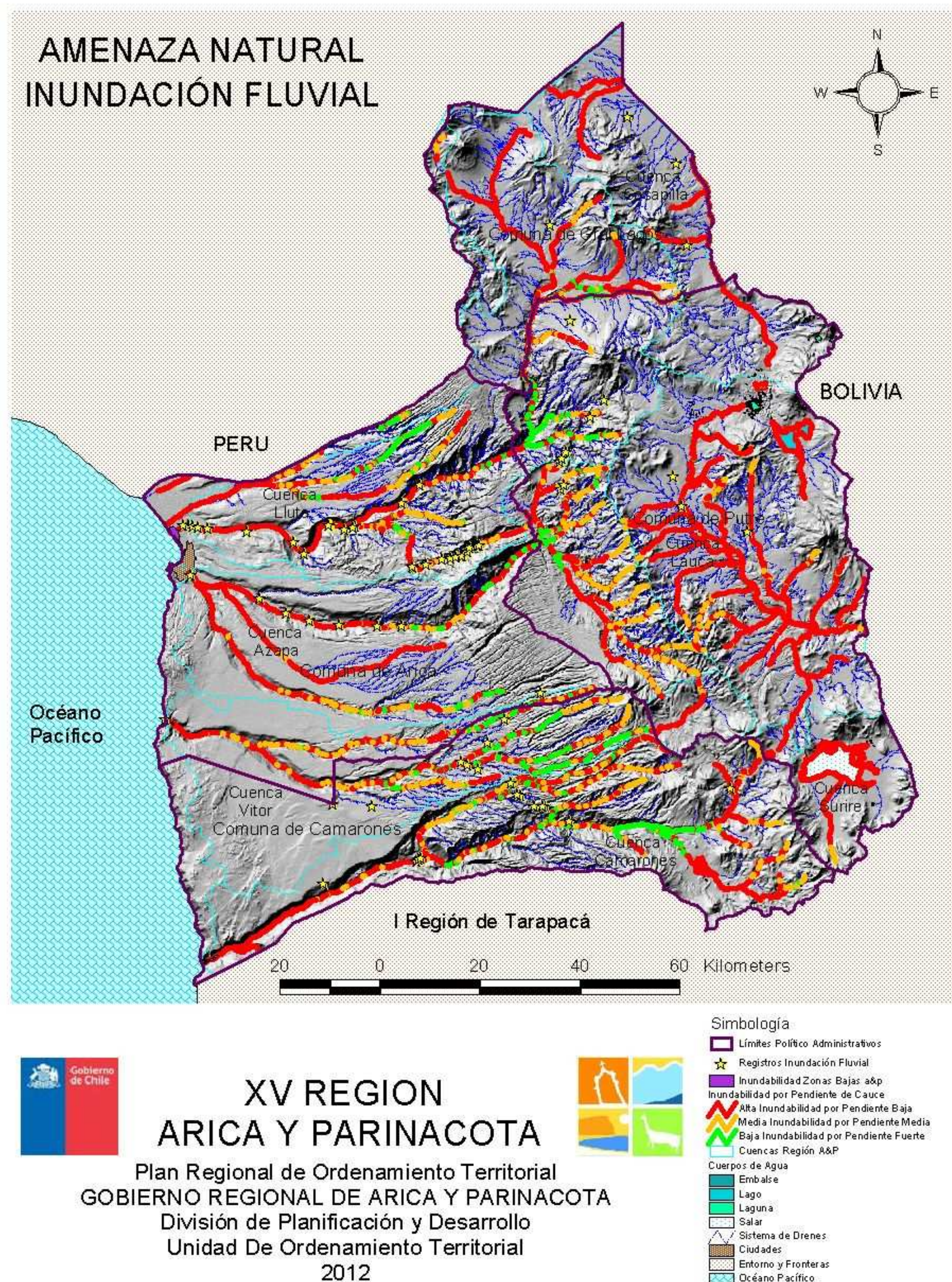
Criterios para la evaluación de Inundación Fluvial

La amenaza por inundación fluvial, se basa principalmente en la probabilidad de ocurrencia precipitación de agua lluvia, del fenómeno y la intensidad del mismo, esta última se puede definir en función de la profundidad y la velocidad del agua, así como de la duración de las inundaciones. Para poder determinar las posibles zonas vulnerables de ser afectadas por inundación fluvial, se considera la delimitación de las cuencas hidrográficas en el territorio regional, incluyendo en estas la red hídrica.

Con estos datos básicos se utilizarán criterios como el **tipo de pendiente** o el **grado de inclinación** de esta; otro criterio usado considera la geomorfología de la cuenca. Se considera además que todos aquellos sectores en donde exista **escurrimiento superficial de agua** y que se encuentre en una **pendiente de 20° o menor**, es susceptible de ser afectado por inundación fluvial.

2.5.3 Mapa de Amenaza por Inundación Fluvial

Figura Nº 51: Mapa Amenaza Inundación Fluvial Región Arica y Parinacota

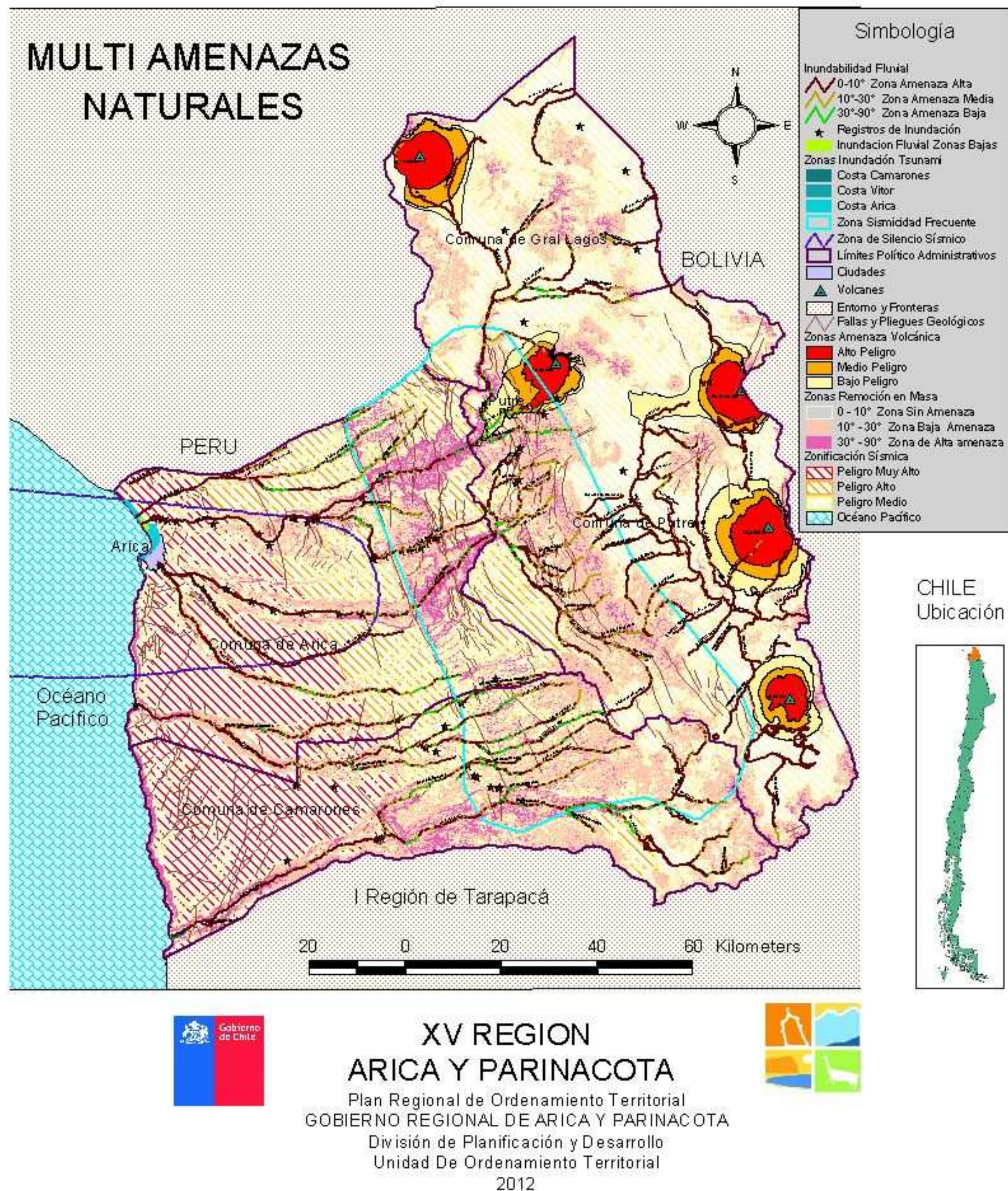


Fuente: Elaboración Propia en base IGM, DGA, Dirección de Vialidad, 2012

2.6 MULTI AMENAZAS NATURALES

En el mapa presentado a continuación se puede apreciar las cinco amenazas naturales revisadas en los párrafos precedentes

Figura Nº 52: Mapa de Multi Amenazas Naturales Región Arica y Parinacota



Fuente: Elaboración Propia

III. SISTEMAS ESTRATÉGICOS

3. IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS ESTRATÉGICOS

Para fines del presente estudio, se consideran sistemas estratégicos aquellos que permiten ubicar y servir a las nuevas actividades económicas; apoyan a las actividades económicas existentes; proporcionan las conexiones a las instalaciones y el apoyo de las instalaciones para la emergencia; contribuyen con cualquier actividad de preparativo para los desastres, es decir, respuesta, recuperación y reconstrucción; reciben una alta prioridad para su reforzamiento antes del desastre, durante las operaciones de emergencia y en su reparación rápida después de daños e interrupciones, relacionados principalmente con la habitabilidad, higiene, abrigo, energía y alimento de la población.

Para establecer que sistemas son estratégicos en la región se ha considerado la singularidad funcional que cumplen estos sistemas frente a desastres naturales, esencialmente el rol estratégico que desempeñan éstos cuando se suscita un desastre natural.

Un sistema es estratégico porque su funcionamiento es crucial antes, durante y después de sucedido el desastre natural, porque su estructura proporciona seguridad, porque alberga alta densidad poblacional, porque en caso de sufrir alguna falla o deterioro el sistema generaría numerosas muertes o lesiones o genera grandes daños que implicaría el desvío de grandes cantidades de recursos públicos a su reposición, entre otras. Los sistemas son estratégicos porque son necesarios para la salud, seguridad y prosperidad de la comunidad, si alguno de estos sistemas se ve dañado por algún evento natural el impacto negativo a nivel regional se incrementará respecto a un escenario en que estos sistemas no se vean afectados. Entonces estos sistemas son gravitantes al interior de la estructura regional, así como son estratégicos pueden también considerarse como críticos, dado que, ante una escenario de ocurrencia de un evento, los efectos secundarios proporcionados por el impacto de desastres naturales en ellos puede causar, por ejemplo, desorganización en los servicios básicos o daño en la infraestructura, teniendo consecuencias negativas que van más allá de la propia importancia de los sistemas.

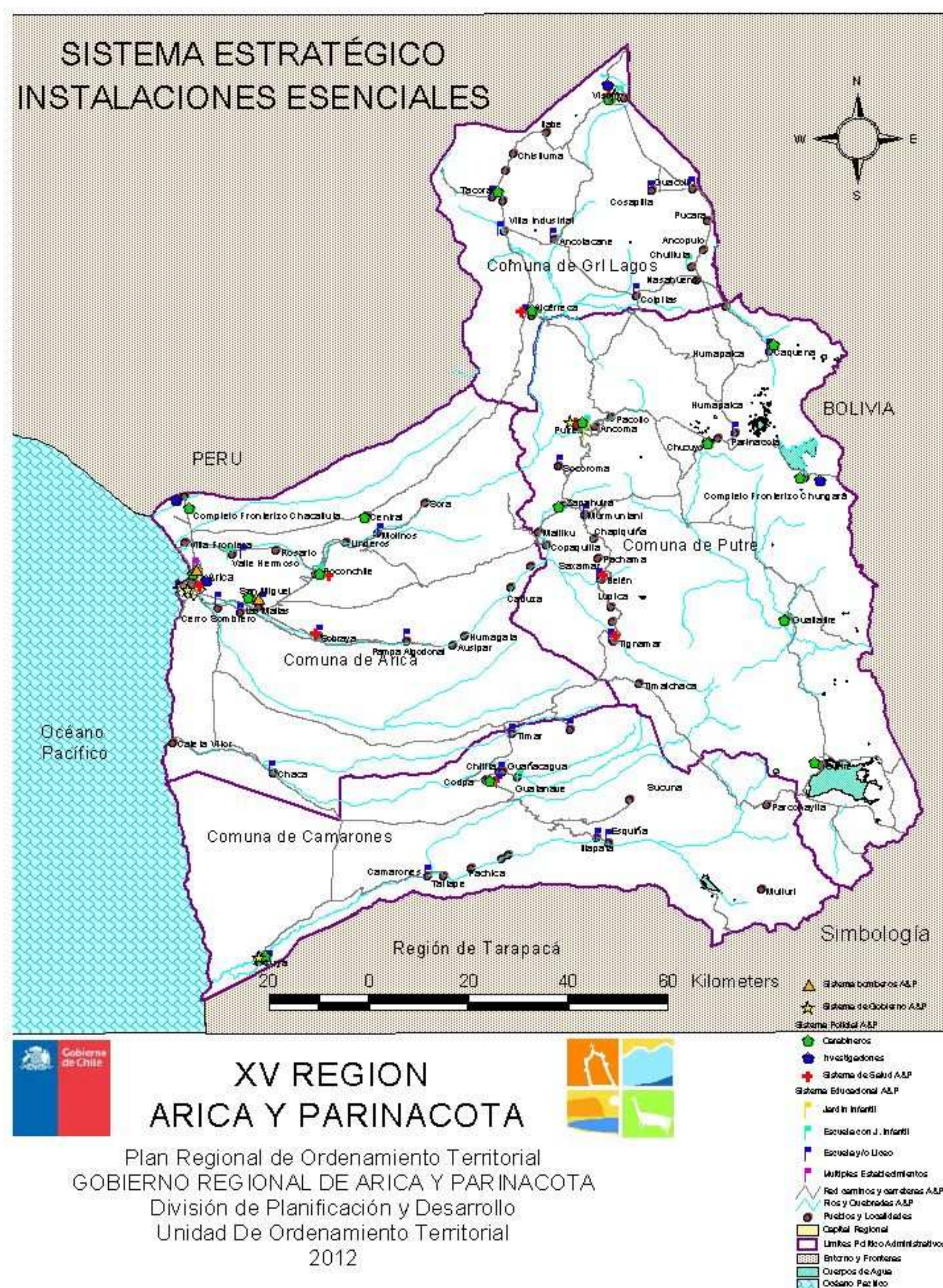
Para estos efectos se ha revisado las instalaciones y redes emplazadas en el territorio agrupándolas en las categorías definidas en la Guía Metodológica, siendo estas: Instalaciones Esenciales, Instalaciones con alto Potencial Dañino, Redes de Transporte, y por último Redes Vitales.

3.1 CATASTRO DE SISTEMAS ESTRATÉGICOS

3.1.1 Sistema de Instalaciones Esenciales

Son aquellos sistemas que al verse afectados negativamente por un desastre natural limitan la capacidad de gestión de la emergencia y restringen las opciones de respuesta efectiva durante y después del evento. Incluyen a Instalaciones Policiales, Establecimientos Educacionales, Hospitalarias, Bomberos y algunos Servicios Públicos, estos últimos considera los que debido a que su funcionalidad resulta estratégica frente a diversos desastres naturales, y en general estas instalaciones en periodos de emergencia cumplen la función de coordinar y ejecutar gran parte de las **tareas de manejo de la emergencia**, por lo tanto, estas oficinas deben permanecer operativas durante la emergencia.

Figura Nº53: Mapa Sistema Estratégico de Instalaciones Esenciales



Fuente: Elaboración Propia en base IGM, MINEDUC, MINSAL, Carabineros, 2012

Cuadro Nº13: Tabla Catastro Instalaciones Esenciales

Instalaciones Esenciales	Comuna Arica	Comuna Camarones	Comuna Putre	Comuna Gral Lagos	XV Región
Policía	13	2	8	4	27
Establecimientos Educacionales	60	9	7	8	84
Establecimientos de Salud	8	1	3	2	14
Compañías de Bomberos	7	0	0	0	7
Edificios públicos de gobierno	4	1	2	1	8
Total Instalaciones:	**92**	**13**	**20**	**15**	**140**

Fuente: Elaboración Propia

Podemos mencionar que de las 27 unidades policiales de una corresponde a Jefatura de Zona Policial, una a Prefectura y dos a Comisaria, existe una tercera Comisaría (2ª) en Putre, las demás a retenes de Carabineros, la Jefatura de Zona Policial de la Policia de Investigaciones un cuartel de policía internacional y tres puestos fronterizos. De las instalaciones de Salud una de ellas corresponde a hospital público y dos a clínicas particulares. En el caso de los bomberos una corresponde a Comandancia. Los establecimientos educacionales han sido considerados en su capacidad de atender albergados en la emergencia, por lo que se han excluido los Jardines infantiles, escuelas especiales y centros de capacitación, considerándose solamente las escuelas, liceos y colegios. Para el caso de los servicios públicos de gobierno tenemos una Intendencia Regional, dos Gobernaciones Provinciales y cuatro Municipalidades, se ha incluido además la oficina regional de Onemi.

3.1.2 Sistema de Instalaciones con Alto Potencial Dañino

Son estructuras que cuando presentan algún deterioro generan nuevas situaciones de emergencia en el territorio alterando el bienestar de la población. Estas consisten en Instalaciones de almacenamiento, traslado y producción de sustancia peligrosas, acumulación de agua (Tranques, embalses), ductos de combustibles, y otros afines.

Cuadro Nº14: Tabla Catastro Instalaciones Instalaciones con alto Potencial de Daño

Instalaciones con alto Potencial Dañino	Comuna Arica	Comuna Camarones	Comuna Putre	Comuna Gral Lagos	XV Región
Embalses o represas	0	1	0	0	1
Sustancias peligrosas	3	0	0	0	3
Vertederos y basurales	2	1	1	0	4
Residuos Peligrosos	3	0	1	0	4
Ductos de Combustibles	[3]	0	0	[1]	3
Total Instalaciones:	**[11]**	**2**	**2**	**[1]**	**15**

Fuente: Elaboración Propia

Nota: Las cifras en [] corresponden a red que está en más de una comuna.

Figura Nº54: Mapa Sistema Estratégico Instalaciones con alto Potencial de Daño



Fuente: Elaboración Propia en base IGM, DGA, SEC 2012

Cabe hacer presente que para el ítem sustancias peligrosas se ha incluido los estanques de petróleo, gasolina y gas. Los residuos peligrosos corresponden a zona de residuos dejados por instalación minera. Los ductos de combustibles se trata del oleoducto que viene desde Bolivia hasta el centro de acopio en Arica, este para efectos del análisis regional se considera como unos solo, aun cuando en el cuadro Nº13 en la distribución por

comunas aparece contabilizado en dos de ellas, el otro ducto corresponde al que va desde este centro de acopio hasta las boyas para carga y descarga de combustible de barcos cisternas, el tercero corresponde al otro ducto de descarga de combustibles desde barcos a los estanques para consumo local, en el total se han considerado solo tres por cuanto el de YPFB es uno solo que recorre dos comunas.

3.1.3 Sistema de Redes de Transporte

Las redes de transporte se entienden como sistemas que facilitan la gestión de emergencia, debido a que permiten la movilidad de las personas y reparación de otras instalaciones críticas, en caso de inhabilitarse las redes de transporte los territorios se ven afectados por aislamiento. Se consideran las Vías carreteras, Vías urbanas que conectan carreteras y caminos, Puertos, Aeropuertos, Terminales de buses, Sistema ferroviario.

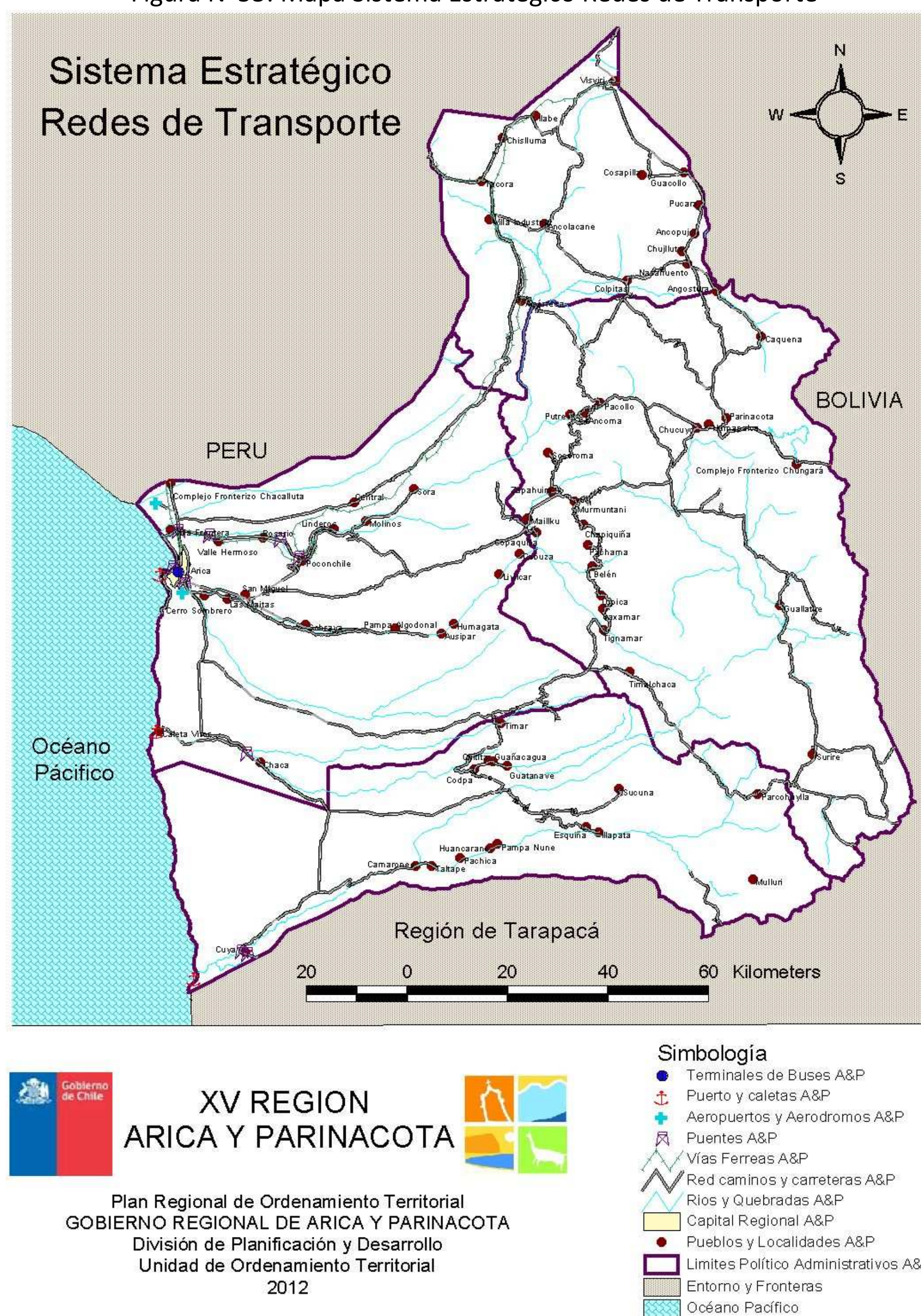
Cuadro Nº15: Tabla Catastro Redes de Transporte y distribución por comunas

Redes de Transporte	Comuna Arica	Comuna Camarones	Comuna Putre	Comuna Gral Lagos	XV Región
Red vial regional	[25]	[9]	[32]	[13]	73
Calles Vialidad Estructurante	21	0	3	1	25
Vía Férrea	2	0	0	1	2
Puentes	10	2	3	0	15
Rutas Aéreas	[3]	0	[1]	0	3
Aeropuertos y aeródromos	2	0	0	0	2
Terminal de buses	2	0	0	0	2
Puertos y caletas	2	1	0	0	3
Total Redes:	**[69]**	**[12]**	**[39]**	**[15]**	**125**

Fuente: Elaboración Propia en base información Dir. Vialidad, MINVU, SECTRA.
Nota: Las cifras en [] corresponden a red que está en más de una comuna.

La red víal regional comprende las rutas establecidas como camino público y registrado por la Dirección de Vialidad las cuales suman 73, de las cuales dos son rutas de conexión internacional con un alto nivel de uso, existe una tercera vía internacional de menor uso. Los totales no corresponden a la suma de los parciales por cuanto hay rutas que recorren dos o más comunas, lo mismo se aplica a las vías férreas. A modo de aclaración para definir las calles de vialidad estructurante, se ha considerado conforme a la metodología aquellas calles que sirven para conectar caminos y por otra parte, aquellas que están definidas en plan regulador de Arica como vialidad estructurante las cuales son 15, de las otras primeramente mencionadas hay 10, tres de las cuales están ubicadas en la otra capital provincial, Putre y una en Visviri. Las vías férreas corresponden al Ferrocarril que va al Perú y la otra que va a Bolivia. De los puentes mencionados siete están ubicados sobre el río San José en área urbana, los demás están en caminos. Se ha incorporado las rutas aéreas ya que son una de las principales vías de acceso y salida de la región conectándola con el resto del país y además conectan con Bolivia y con Perú, y como se verá en el análisis posterior una está expuesta a riesgo volcánico, al igual que la red vial Regional estas cruzan más de una comuna, por lo que la suma de las parciales no coincide con el registro total regional. De los aeropuertos y aeródromos, el principal tiene conexión internacional y el otro es un aeródromo militar. En el caso de los terminales de buses solo existen dos formales, uno está dedicado al movimiento nacional y el otro a internacional o fronterizo.

Figura Nº55: Mapa Sistema Estratégico Redes de Transporte



Fuente: Elaboración Propia en base IGM, Dirección de Vialidad, 2012

3.1.4 Sistema de Redes Vitales

Son aquellos sistemas que están distribuidos espacialmente en el territorio que por su extensión están altamente expuestas a eventos naturales y proporcionan servicios de primera necesidad, que de ser inhabilitados alguno de ellos la población presentarían una

situación de emergencia. Se incluye en estas redes Sistemas de Agua Potable, Sistemas de Alcantarillado, Sistemas de Comunicaciones, Sistemas Eléctricos, Sistemas de Combustibles.

Cuadro Nº16: Tabla Catastro y distribución de Redes Vitales

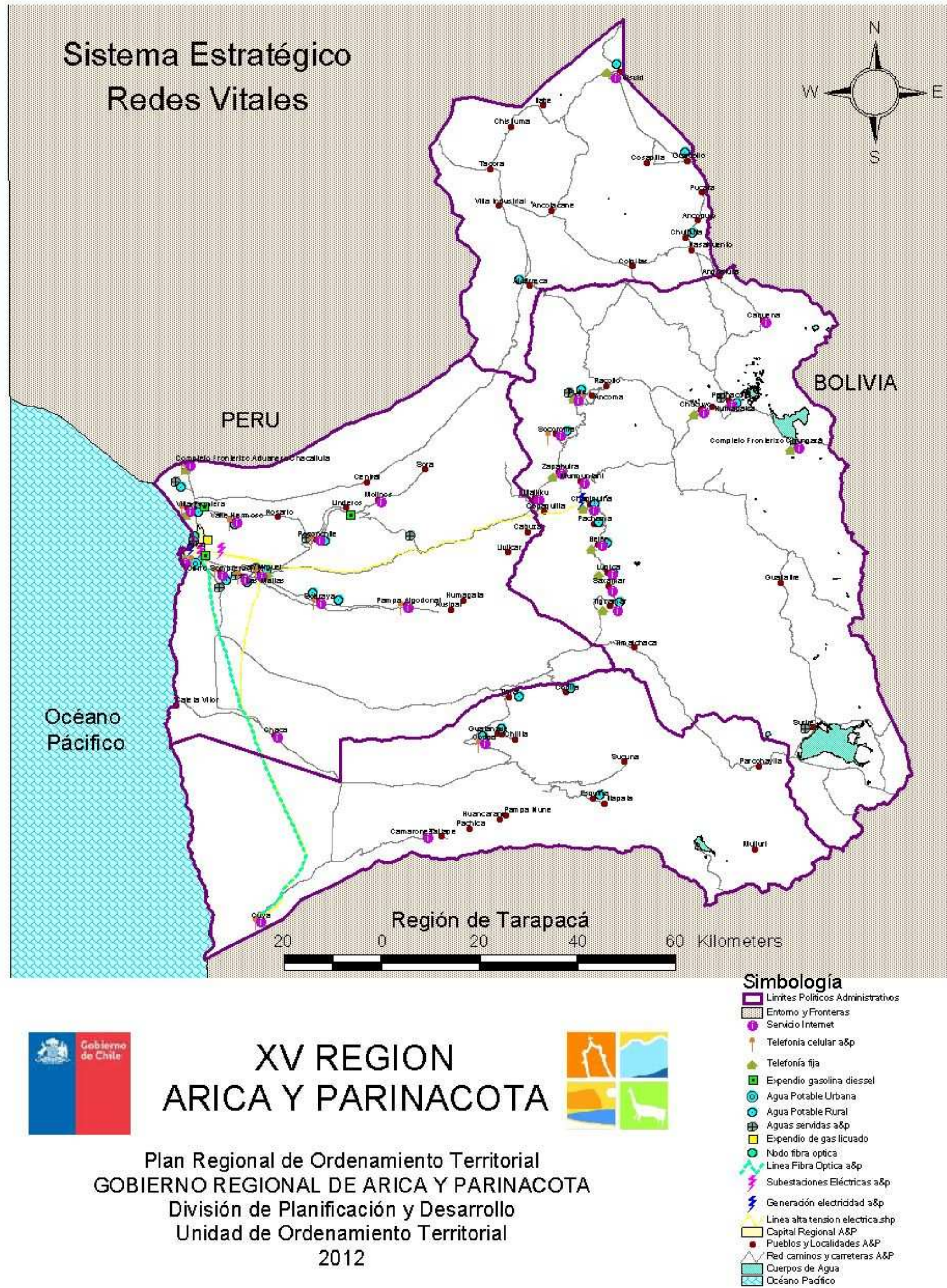
Redes Vitales	Comuna Arica	Comuna Camarones	Comuna Putre	Comuna Gral Lagos	XV Región
Subestaciones eléctricas	5	0	1	0	6
Transmisión energía eléctrica	[4]	[2]	[2]	0	4
Generación Eléctrica	1	0	1	0	2
Estanques de agua potable	14	0	0	0	14
Agua potable rural	9	5	8	4	26
Tratamiento de aguas servidas	9	0	4	0	13
Expendio de Combustibles	28	0	0	0	28
Nodo de fibra óptica	1	0	0	0	1
Líneas de Fibra óptica	[1]	[1]	0	0	1
Telefonía Fija	6	2	8	1	17
Telefonía Movil	14	3	13	1	31
Internet	14	3	13	1	31
Total Redes:	**[106]**	**[16]**	**[50]**	**7**	**174**

Fuente: Elaboración Propia

Nota: Las cifras en [] corresponden a red que está en más de una comuna.

En el caso de las Redes Vitales al igual que en las Redes de Transporte las cantidades totales no son la sumatoria de las parciales distribuidas en las comunas, por cuanto algunas instalaciones que se desarrollan en extensión cruzan más de una comuna, pero para efectos regionales se consideran como una sola. Se han considerado aquellas subestaciones eléctrica que reciben energía en alta tensión y la transforman en electricidad para uso residencial, si bien la de Putre es de bastante menor categoría que las de Arica, está es vital para esa comuna. En el caso de los tendidos de transmisión eléctrica, las que aparecen en Camarones son dos de las cinco que alimentan a Arica y que no entregan energía a esa comuna al ser de simple paso. Similar es lo que sucede en la comuna de Putre ya que de la hidro-eléctrica de Chapiquiña una línea va a Putre y la otra a Arica, siendo esta última un tramo de la misma línea considerada en la comuna de Arica. En cuanto a Generación de energía eléctrica, existe la planta ubicada en la localidad de Chapiquiña y la planta de motores diesel ubicada en Arica. Con relación al tratamiento de aguas servidas, solamente existe una sola de mayor envergadura, que trata las aguas servidas de Arica y las eyecta al océano pacifico, la otras plantas corresponden a soluciones de pequeña tamaño que atienden localidades de pocos habitantes o instalaciones productivas. Para el expendio de combustibles se han considerado todos los servicentros de venta de gasolina y petróleo, como también los expendedores de gas licuado para consumo de automóviles. En el tema de comunicaciones se ha considerado el nodo de fibra óptica que une el cable submarino internacional con esta área del continente, como la línea que une con el resto del país, lo que se refiere a telefonía, tanto fija como la móvil, se considera las empresas operando en la región, las cuales cuentan con sus centros operativos y antenas o cables para entregar el servicio, igual criterio se ha aplicado para el suministro de internet, considerando inclusive antenas satelitales menores ubicadas en pequeñas localidades.

Figura Nº56: Mapa Sistema Estratégico Redes Vitales



Fuente: Elaboración Propia en base IGM, SEC, SUBTEL, 2012

3.2 MAPA DE MULTISISTEMAS ESTRATÉGICOS

A continuación se presenta el mapa que contiene todas las instalaciones y redes de los cuatro Sistemas Estratégicos.

Figura Nº57: Mapa Multi Sistemas Estratégicos Región Arica y Parinacota

Multi Sistemas Estratégicos

PERU

BOLIVIA

Oceano Pacifico

Comuna Gral Lagos

Comuna Putre

Comuna Arica

Comuna Camarones

Region de Tarapacá

20 0 20 40 60 Kilometers

Simbología
Sistema de gobierno e&p
Sistema bomberos e&p
Sistema de salud e&p
Sistema polidal e&p
Sistema educacional e&p
Terminal de Buses
Puerto y caletas
Aeropuerto
Puentes e&p
Red caminos y carreteras
Vias Ferreas
Agua potable urbana
Agua potable rural
Aguas servidas e&p
Expendio gasolina y diessel
Expendio de gas licuado
Telefonia Fija
Telefonia Celular e&p
Servicio Internet
Nodo fibra optica
Linea fibra optica e&p
Lineas alta tensión Eléctrica
Generación Electricidad e&p
Subestaciones Electricas e&p
Campos mineros
Embalses e&p
Residuos peligrosos e&p
Vertederos e&p
Estanques combustibles
Oleoductos submarinos
Oleoducto ypfb e&p
Ciudades y pueblos e&p
Area Capital Regional
Rios y Quebradas
Cuerpos de Agua
Limites Politicos Region
Entorno Fronteras
Oceano Pacifico

CHILE Ubicación



XV REGION
ARICA Y PARINACOTA
Plan Regional de Ordenamiento Territorial
GOBIERNO REGIONAL DE ARICA Y PARINACOTA
División de Planificación y Desarrollo
Unidad De Ordenamiento Territorial
2012



Fuente: Elaboración Propia en base IGM

IV. VULNERABLIDAD

4. VULNERABILIDAD DE LOS SISTEMAS ESTRATÉGICOS

En el presente estudio utilizaremos la definición indicada en el programa "Aproximación holística para la evaluación probabilística del riesgo" (Central America Probabilistic risk Assessment CAPRA, 2005, Evaluación de Riesgos Naturales: www.ecapra.org), de esta manera se considera que vulnerabilidad es la predisposición de un sistema, elemento, componente, grupo humano o cualquier tipo de grupo biológico o no, a sufrir afectación ante la acción de una situación de amenaza específica.
Así entonces, la vulnerabilidad se evaluará y asignará a los componentes de los sistemas estratégicos expuestos y para cada uno de las amenazas definidas en la primera parte de este estudio, con lo cual se podrá posteriormente avanzar hacia el cálculo del riesgo.

La vulnerabilidad según (Blaikie y otros 1994) es objetivamente, junto a los elementos esenciales, la dimensión esencial del riesgo, vulnerabilidad ya no es solamente el hecho de ser más o menos susceptible de sufrir daño, sino también el de estar en capacidad de generarlos, amplificarlos, darles características particulares, y su contrario es saber evitar los fenómenos dañinos que la originan, o al menos anticiparlos, afrontarlos, resistirlos y recuperarse después de su ocurrencia.

4.1 VULNERABILIDAD POR SISMO

En el siguiente apartado se presenta la situación de cada sistema estratégico expuesto ante la amenaza sísmica según la zonificación definida en el documento "Desarrollo de plataforma de amenaza sísmica para el norte de Chile y propuesta de actualización de normas de diseño sismo-resistente: Análisis de los efectos del terremoto del Maule 2010 y caracterización de terremotos tipo en el segmento Taltal-Arica", (LEYTON, FELIPE).

4.1.1 Exposición Sistema de Instalaciones Esenciales

En este sistema la vulnerabilidad de estos sistemas depende fundamentalmente según en qué zona se ubique la instalación y del epicentro del sismo y su magnitud, . Considerando esto en la Zonificación sísmica de la región, se ha clasificado las instalaciones esenciales de acuerdo a su ubicación en el área sísmica que le corresponde.

Cuadro N°17: Tabla Sistema de Instalaciones Esenciales Expuestos a Sismo

Instalación Esencial	N° de instalaciones	Expuestos a Muy Alta Demanda	Expuestos a Alta Demanda	Expuestos a Mediana Demanda
Policía	27	13	2	12
Establecimientos educacionales	84	58	10	16
Establecimientos de Salud	14	7	2	5
Compañías de Bomberos	7	7	0	0
Edificios públicos	8	5	0	3
Total sistema estratégico	**140**	**90**	**14**	**36**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.1.2 Exposición Sistema de Instalaciones con Alto Potencial Dañino

Al igual que en el sistema de instalaciones esenciales, este sistema se ve afectado según en qué zona sísmica se ubique la instalación. Estando la mayoría ubicadas en la proximidad a la costa y zona urbana de Arica, están sujetas a la más alta demanda.

Cuadro N°18: Tabla Sistema de Instalaciones con Alto Potencial de Daño Expuesto a Sismo

Instalación Alto Potencial de Daño	N° de instalaciones	Expuestos a Muy Alta Demanda	Expuestos a Alta Demanda	Expuestos a Mediana Demanda
Embalses o represas	1	0	0	1
Sustancias Peligrosas	3	3	0	0
Vertederos y basurales	4	2	0	2
Residuos peligrosos	4	2	1	1
Ductos de Combustibles	3	3	0	0
Total	**15**	**10**	**1**	**4**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.1.3 Exposición Sistema de Redes de Transporte

Este sistema como los mencionados anteriormente también se encuentra concentrado en la zona de Muy Alta demanda Sísmica, ya que la mayoría de estas instalaciones se ubican en la proximidad a la costa.

Cuadro N°19: Tabla Sistema de Redes de Transporte Expuesto a Sismo

Instalación Redes de Transporte	N° de instalaciones	Expuestos a Muy Alta Demanda	Expuestos a Alta Demanda	Expuestos a Mediana Demanda
Red vial regional	73	25	19	29
Calles Vialidad Estructurante	25	21	0	4
Vía Férrea	2	2	0	0
Puentes	15	12	0	3
Rutas Aéreas	3	3	0	0
Aeropuertos y aeródromos	2	2	0	0
Terminal de buses	2	2	0	0
Puertos y caletas	3	3	0	0
Total	**125**	**70**	**19**	**36**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.1.4 Exposición Sistema de Redes Vitales

Gran parte de este sistema se encuentra ubicado en la zona de Muy Alta Demanda Sísmica, siguiendo la concentración de población en la única zona urbana desarrollada en la región.

Cuadro N°20: Tabla Sistema de Instalaciones de Redes Vitales expuestos a Sismo

Instalación Redes Vitales	N° de instalaciones	Expuestos a Muy Alta Demanda	Expuestos a Alta Demanda	Expuestos a Mediana Demanda
Subestaciones eléctricas	6	5	1	0
Transmisión energía eléctrica	4	3	0	1
Generación eléctrica	2	1	0	1
Estanques de agua potable	14	14	0	0
Agua potable rural	26	8	6	12
Tratamiento de aguas servidas	13	7	2	4
Expendio de combustibles	28	28	0	0
Nodo de fibra óptica	1	1	0	0
Líneas de Fibra óptica	1	1	0	0
Telefonía Fija	17	6	2	9
Telefonía Móvil	31	12	5	14
Internet	31	12	5	14
Total Redes:	**174**	**98**	**21**	**55**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

Conclusión:

Como se puede observar de los cuadros recién expuestos, es posible señalar que el sistema de redes de transporte es el más afectado por la actividad sísmica de la región con 125 instalaciones expuestas a Muy Alta Demanda. Dicha situación se debe a que las redes de transporte son las que se distribuyen para dar cobertura en gran parte del territorio regional, ya que este sistema es el encargado de mantener conectada, principalmente, vía terrestre, las distintas localidades de la región. Le sigue el sistema de Redes vitales con 92 instalaciones afectadas. En general podemos observar que cada sistema tiene una Muy alta Exposición, esto se debe principalmente a que la mayoría de las instalaciones se ubican estrechamente vinculadas con Arica, emplazada en el borde costero, por ende en zonas de corteza más delgada en que los sismos afecta con mayor intensidad. Por otra parte los sistemas que se desarrollan en extensión son más propensos a verse afectados.

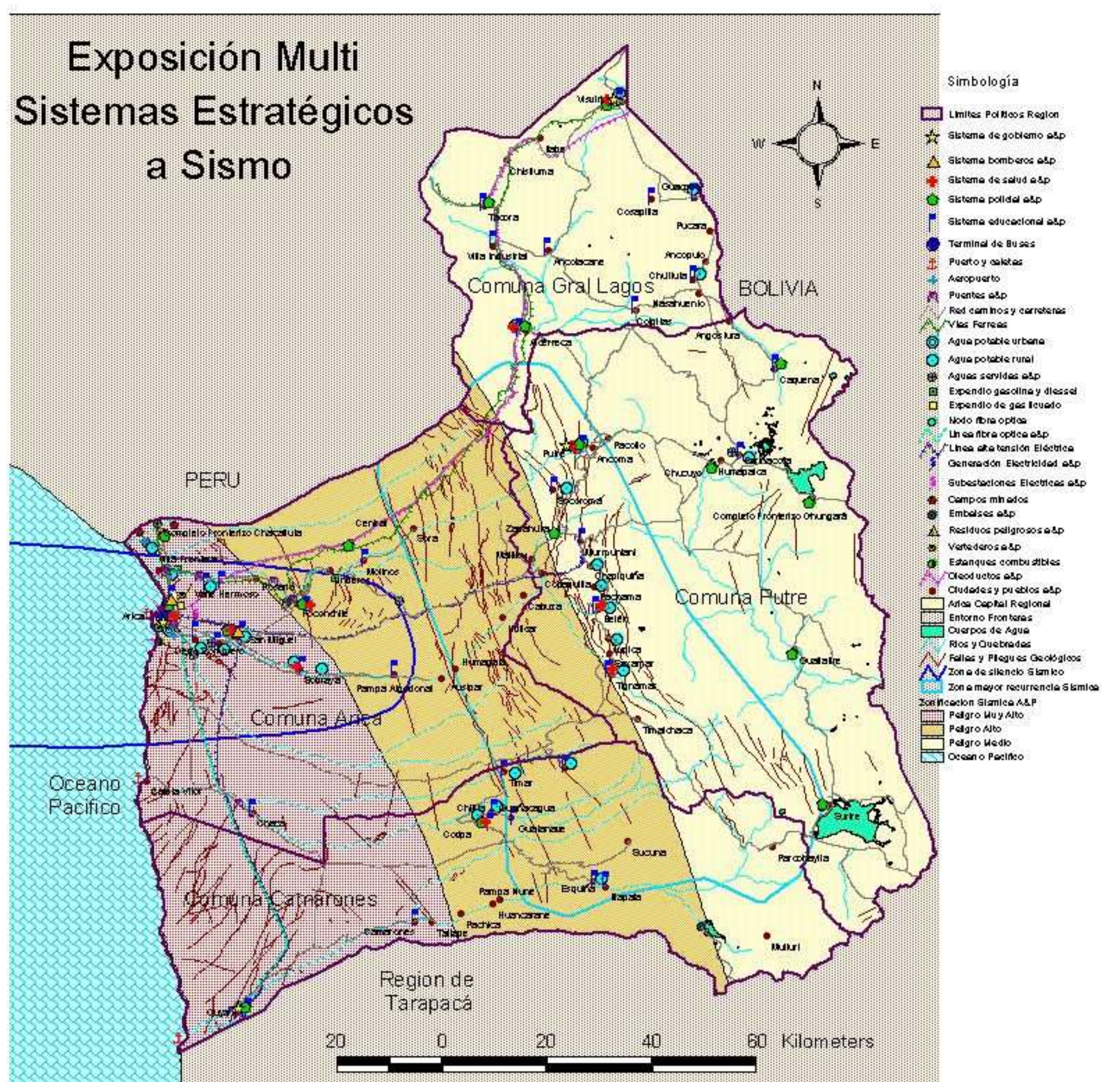
Cuadro N°21: Tabla Catastro de Sistemas Estratégicos expuesto a la Amenaza Sísmica

Instalaciones y Redes de todos los Sistemas Estratégicos	N° de instalaciones	Expuestos a Muy Alta Demanda	Expuestos a Alta Demanda	Expuestos a Mediana Demanda
Policía	27	13	2	12
Establecimientos educacionales	84	58	10	16
Establecimientos de Salud	14	7	2	5
Compañías de Bomberos	7	7	0	0
Edificios públicos	8	5	0	3
Embalses o represas	1	0	0	1
Sustancias peligrosas	3	3	0	0
Vertederos y basurales	4	2	0	2
Residuos peligrosos	4	2	1	1
Ductos de combustibles	3	3	0	0
Red vial regional	73	25	19	29
Calles vialidad estructurante	25	21	0	4
Vías férreas	2	2	0	0
Puentes	15	12	0	3
Rutas aéreas	3	3	0	0
Aeropuertos y aeródromos	2	2	0	0
Terminal de buses	2	2	0	0
Puertos y caletas	3	3	0	0
Subestaciones eléctricas	6	5	1	0
Transmisión energía eléctrica	4	3	0	1
Generación eléctrica	2	1	0	1
Estanques de agua potable	14	14	0	0
Agua potable rural	26	8	6	12
Tratamiento de aguas servidas	13	7	2	4
Expendio de combustibles	28	28	0	0
Nodo de fibra óptica	1	1	0	0
Líneas de Fibra óptica	1	1	0	0
Telefonía fija	17	6	2	9
Telefonía movil	31	12	5	14
Internet	31	12	5	14
Total Instalaciones Estratégicas:	**174**	**268**	**55**	**131**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

En las siguiente figura se muestra el mapa de exposición de todos los sistemas estratégicos expuestos ante una amenaza sísmica en la región.

Figura N°58: Exposición Multi Sistemas a Amenaza Sísmica; Región de Arica y Parinacota





XV REGION
ARICA Y PARINACOTA



Plan Regional de Ordenamiento Territorial
GOBIERNO REGIONAL DE ARICA Y PARINACOTA
División de Planificación y Desarrollo
Unidad De Ordenamiento Territorial
2012

Fuente: Elaboración propia, 2011

4.2 VULNERABILIDAD POR TSUNAMI

En este acápite se revisará la situación de los sistemas estratégicos ante la eventualidad de la ocurrencia de la amenaza de Tsunami en la región. Por sus características propias este fenómeno natural, solo afecta las zonas bajas del borde costero, el cual en su mayor parte está compuesto por acantilados, pero Arica, el principal centro poblado y Capital Regional se ubica en el extremo norte del borde costero en una zona de planicie costera la cual tiene zonas inundables y que afectan los sistemas estratégicos.

La importancia que tiene la ciudad de Arica para la Región de Arica y Parinacota como centro urbano aglutinador de la mayor parte de la población regional y de un alto porcentaje de sistemas estratégicos, repercute en el nivel de exposición que presenta ante una amenaza de tsunami, elemento que se hace imprescindible de incorporar dentro de los procesos de Planificación Territorial Regional que contribuya a la gestión estratégica del territorio mediante el ordenamiento del mismo, procurando avanzar en materia de resiliencia local frente a posibles desastres, con el fin de reducir progresivamente las pérdidas materiales y humanas que pudieran ocasionarse.

Considerando los antecedentes históricos, y las zonas de inundación documentada para la ciudad de Arica, se deduce que es el lugar con mayor peligro por inundación debido a un tsunami, pues su eventual ocurrencia la convierten en una amenaza potencialmente desastrosa. Por otra parte, siendo la ciudad de Arica la capital comunal y regional, aglutina un porcentaje importante de sistemas estratégicos y de población, condición que la convierten en una localidad altamente vulnerable ante un evento desastroso. De esta manera, a continuación se detallan las características de los sistemas estratégicos expuesto a la amenaza de inundación por tsunami.

4.2.1 Exposición de Sistema de Instalaciones Esenciales a Tsunami.

Este sistema se compone por los edificios de policía, establecimientos educacionales, establecimientos de salud, compañías de bomberos y edificios públicos de gobierno, que se ven expuestos a la amenaza de tsunami ubicados bajo la cota de inundación estimada por el SHOA el año 2011, viéndose afectados 5 establecimientos educacionales, y particularmente dos edificios públicos de gobierno de gran relevancia, que incluyen el Gobierno Regional y la Gobernación Provincial de Arica.

Cuadro Nº22: Tabla Sistema de Instalaciones Esenciales Expuesto a Tsunami

Instalaciones Esenciales	N° de instalaciones	Expuestos a Amenaza	No Expuesto
Policía	27	1	26
Establecimientos educacionales	84	5	79
Establecimientos de Salud	14	2	12
Compañías de Bomberos	7	2	5
Edificios públicos	8	2	6
Total sistema estratégico	**140**	**12**	**128**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.2.2. Exposición de Sistema de Instalaciones con Alto Potencial de Daño a Tsunami.

El sistema se compone por embalses o represas de agua, depósitos de sustancias peligrosas (petroleo, gasolina, gas), depósitos de basura o vertederos, depósitos de residuos peligrosos (minerales, químicos), también considera los ductos para transporte de sustancias peligrosas (oleoducto), por último también se considera zonas de campos minados próximos a centros poblados o vialidad. De estas instalaciones, las que ostentan una mayor exposición a la amenaza de inundación por tsunami son las instalaciones de ductos de combustibles por cuanto dos de estas se ubican en el borde costero y penetran en el mar.

Cuadro Nº23: Tabla Sistema de Instalaciones con Alto Potencial de Daño expuesto a Tsunami

Instalaciones con alto Potencial Dañino	N° de instalaciones	Expuestos	No Expuestos
Embalses o represas	1	0	1
Sustancias peligrosas	3	0	3
Vertederos y basurales	4	0	4
Residuos Peligrosos	4	1	3
Ductos de Combustibles	3	2	1
Total Instalaciones:	**15**	**3**	**12**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.2.3 Exposición de Sistema de Redes de Transporte a Tsunami.

Este sistema involucra a la infraestructura de conectividad vial y entre ellas se identifican los trazados de las redes viales regionales, calles definidas como vialidad estructurante de la ciudad y aquellas que permitan unir caminos (incluyendo también aquellas que permitan acceder a edificios de gobierno), vías férreas, puentes viales, aeropuertos y aeródromos, terminal de buses y puertos. De las redes de transportes posiblemente afectadas por un tsunami corresponde a 3 instalaciones que quedan expuestas.

En este sistema estratégico las instalaciones más afectadas son todas aquellas calles que se estiman se encuentran bajo la cota de inundación, siendo 4 del total de calles consideradas vialidad estructurante de la ciudad de Arica, mientras que las instalaciones denominadas como Puertos y caletas pesqueras, obviamente debido a su ubicación se verían expuestas en un 100%. Finalmente, las vías férreas considerando su extensión regional, solo se ven expuestas en sus tramos ubicados en zonas bajas anegables por el tsunami, no afectando la mayoría de su extensión.

Cuadro Nº24: Tabla Sistema de Redes de Transporte expuesto a Tsunami

Redes de Transporte	N° de instalaciones	Expuestos	No Expuesto
Red vial regional	73	4	69
Calles vialidad Estructurante	25	19	6
Vías Férreas	2	2	0
Puentes	15	1	14
Rutas Aéreas	3	0	3
Aeropuertos y aeródromos	2	0	2
Terminal de buses	2	0	2
Puertos y caletas	3	3	0
Total	**125**	**29**	**96**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.2.4. Exposición Sistemas de Instalaciones de Redes Vitales a Tsunami.

El sistema integra principalmente instalaciones estratégicas como los estanques de agua potable, estanques de abastecimiento de agua potable rural, tratamiento de aguas servidas, subestaciones eléctricas, tendidos de distribución alimentación eléctrica (alta tensión), combustibles (expendio de gasolina, petróleo, gas) y operadores de comunicaciones (disponibilidad del servicio).

De la totalidad de instalaciones pertenecientes al sistema de redes vitales, 6 de ellas están expuestas a la amenaza de tsunami. Dentro de las tres instalaciones afectadas, la más comprometida se reconoce en las subestaciones eléctricas y el nodo de conexión de cable submarino internacional de fibra óptica.

Cuadro Nº25: Tabla Sistema de Redes Vitales expuesto a Tsunami

Redes Vitales	Nº de Instalaciones	Expuestos	No Expuesto
Subestaciones eléctricas	6	1	5
Transmisión energía eléctrica	4	0	4
Generación Eléctrica	2	0	2
Estanques de agua potable	14	0	14
Agua potable rural	26	0	26
Tratamiento de aguas servidas	13	1	12
Expendio de Combustibles	28	3	25
Nodo de fibra óptica	1	1	0
Líneas de fibra óptica	1	0	1
Telefonía Fija	17	0	17
Telefonía Móvil	31	0	31
Internet	31	0	31
Total Redes:	**174**	**6**	**168**

Fuente: Elaboración propia, en base información Seremi Transportes, SEC, DOH, Municipios 2012.

Figura N°59: Mapa Exposición Multi Sistemas a Amenaza Tsunami; Región de Arica y Parinacota

Exposición Multi Sistemas Estratégicos a Tsunami



XV REGION
ARICA Y PARINACOTA
Plan Regional de Ordenamiento Territorial
GOBIERNO REGIONAL DE ARICA Y PARINACOTA
División de Planificación y Desarrollo
Unidad De Ordenamiento Territorial
2012



Fuente: Elaboración propia, 2011

Catastro de Sistemas Estratégicos Expuestos a la Amenaza de Tsunami

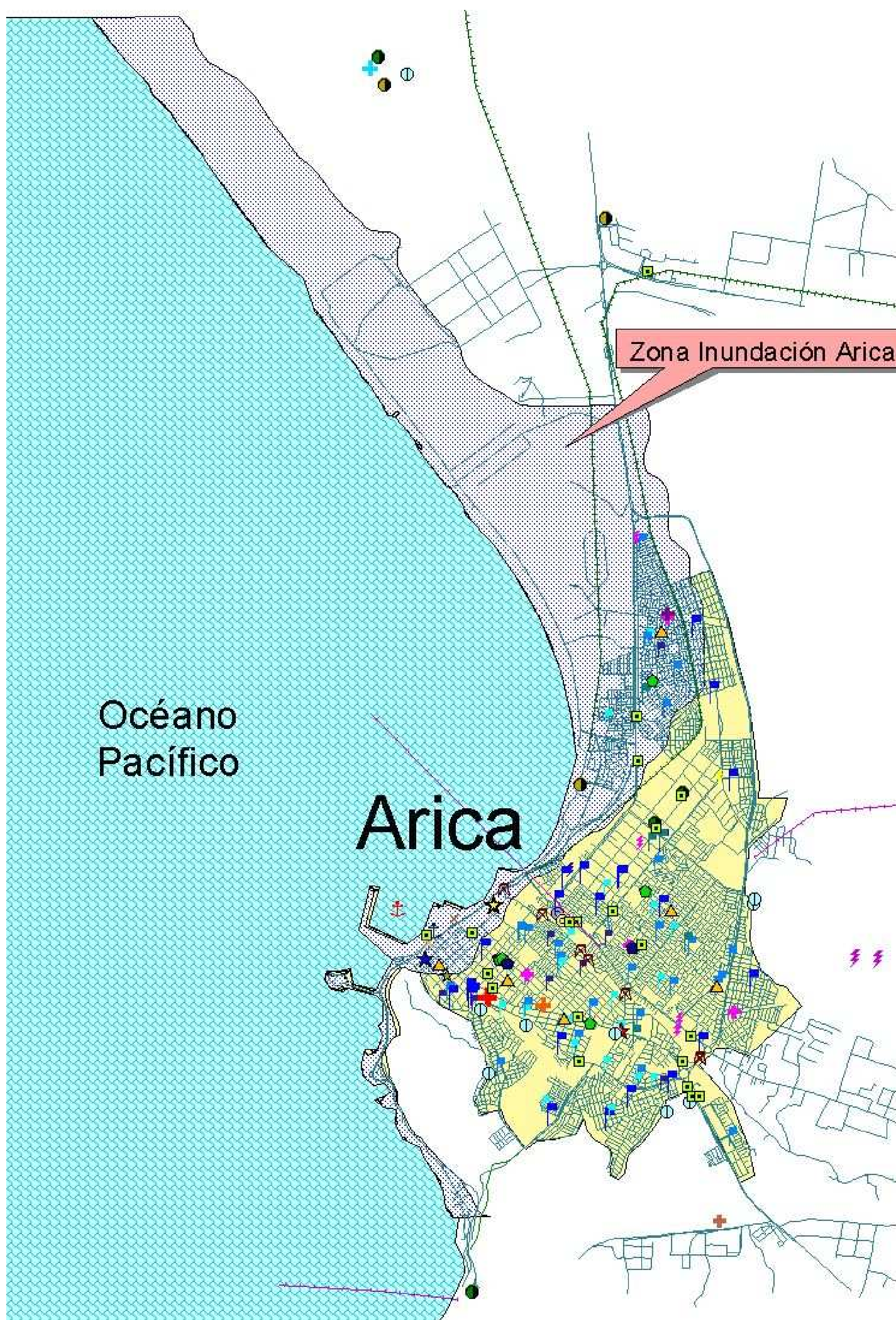
El área directamente expuesta a un tsunami provocado por actividad sísmica en la Región corresponde al borde costero y en particular queda expuesta la ciudad de Arica. Con una superficie de inundación aproximada de 27 km² (en el área de extensión de la ciudad), 50 de los sistemas estratégicos regionales se verían afectados, destacando principalmente el sistema de Redes de Transporte, y entre las instalaciones más expuestas se hallan las calles de la ciudad de Arica, vía férrea y gran parte de los edificios públicos.

Cuadro Nº26: Tabla Exposición de sistemas estratégicos a tsunami

Instalaciones y Redes de todos los Sistemas Estratégicos	N° de instalaciones	Expuestos a Amenaza	No Expuesto a Amenaza
Policía	27	1	26
Establecimientos educacionales	84	5	79
Establecimientos de Salud	14	2	12
Compañías de Bomberos	7	2	5
Edificios públicos	8	2	6
Embalses o represas	1	0	1
Sustancias peligrosas	3	0	3
Vertederos y basurales	4	0	4
Residuos peligrosos	4	1	3
Ductos de combustibles	3	2	1
Red vial regional	73	4	69
Calles vialidad estructurante	25	19	6
Vías férreas	2	2	0
Puentes	15	1	14
Rutas aéreas	3	0	3
Aeropuertos y aeródromos	2	0	2
Terminal de buses	2	0	2
Puertos y caletas	3	3	0
Subestaciones eléctricas	6	1	5
Transmisión energía eléctrica	4	0	4
Generación eléctrica	2	0	2
Estanques de agua potable	14	0	14
Agua potable rural	26	0	26
Tratamiento de aguas servidas	13	1	12
Expendio de combustibles	28	3	25
Nodo de fibra óptica	1	1	0
Líneas de Fibra óptica	1	0	1
Telefonía fija	17	0	17
Telefonía móvil	31	0	31
Internet	31	0	31
Total Instalaciones Estratégicas:	**454**	**50**	**404**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

Figura N°60: Mapa Exposición Multi Sistemas a Amenaza Tsunami; Ciudad de Arica



Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.3 VULNERABILIDAD POR REMOCION EN MASA

Si bien la amenaza por remoción en masa es un peligro latente en la Región de Arica y Parinacota, su probabilidad de ocurrencia no tiene una relación determinante con la presencia de personas en el territorio, es decir, su afectación a centros poblados y sistemas estratégicos es escasa con respecto a otras amenazas naturales, como se puede apreciar en la ilustración. La manera en que puede ser incorporada esta amenaza a la Planificación Territorial es a través de la consideración de las dos fuentes generadoras señaladas previamente en este informe, es decir de origen telúrico o hidro-metereológico, correspondiendo a derrumbes y deslizamientos respectivamente.

Se consideran tres intervalos, las coloraciones rojas en el mapa corresponden a las zonas con mayor probabilidad de caer bajo el efecto de deslizamientos y derrumbes, pues corresponden a pendientes superiores a 10° o 22% constituyendo las zonas de amenazas, superponiendo a esta las capas de sistemas Estratégicos, se puede definir el porcentaje de instalaciones expuestas, las cuales se presentan en los siguientes cuadros.

4.3.1 Exposición de Sistema de Instalaciones Esenciales.

Revisada la situación de las Instalaciones Esenciales, se aprecia que ninguna de estas está expuesta a la amenaza de Remoción en Masa.

Cuadro Nº27: Tabla Sistema de Instalaciones Esenciales expuesto a Remoción en Masa

Instalaciones Esenciales	N° de instalaciones	Amenaza Alta	Sin o Baja Amenaza
Policía	27	0	27
Establecimientos educacionales	84	0	84
Establecimientos de Salud	14	0	14
Compañías de Bomberos	7	0	7
Edificios públicos	8	0	8
Total sistema estratégico	**140**	**0**	**140**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.3.2 Exposición de Sistema con Alto Potencial de Daño.

En general este sistema casi no se ve afectado por esta amenaza, salvo dos instalaciones que están estrechamente ligadas y ubicadas en el borde costero en sector de ladera con fuerte pendiente, y corresponden a los estanques de combustible junto con el oleoducto que los alimenta desde las embarcaciones.

Cuadro Nº28: Tabla Sistema con Alto Potencial de Daño expuesto a Remoción en Masa

Instalaciones con Alto Potencial de Daño	N° de instalaciones	Amenaza Alta	Baja o Sin Amenaza
Embalses o represas	1	0	1
Sustancias peligrosas	3	1	2
Vertederos y basurales	4	0	4
Residuos Peligrosos	4	0	4
Ductos de Combustibles	3	1	2
Total Instalaciones:	**15**	**2**	**13**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.3.3 Exposición de Sistema de Redes de transporte.

Este sistema involucra a la infraestructura de conectividad vial y entre ellas se identifican los trazados de las redes viales regionales, calles de la ciudad, vías férreas, puentes, aeropuertos y aeródromos, terminal de buses y puertos.

En este sistema estratégico la instalación más afectada es la Red Vial, siendo 14 de las rutas enroladas que la componen, las que están expuestos a deslizamiento y derrumbes en algún tramo de su extensión debido a su trazado por fondo de valle o en laderas de quebradas con fuerte pendiente. De las rutas enroladas de la red vial, en su mayoría están expuestas aquellas que forman parte de caminos de tierra que tienen acceso a localidades rurales de las comunas de Putre, General Lagos y Camarones, lo cual implica una alta probabilidad de aislamiento en caso de ocurrir eventos de este tipo.
Por otra parte, también se verían afectadas las dos rutas jerárquicas de la Región, las cuales son la 11-Ch y la 5 de conectividad nacional e internacional.

Cuadro Nº29: Tabla Sistema de Redes de Transporte expuesto a Remoción en Masa

Redes de Transporte	N° de instalaciones	Amenaza Alta	Baja o Sin Amenaza
Red vial regional	73	14	59
Calles vialidad estructurante	25	1	24
Vías Férreas	2	1	1
Puentes	15	0	15
Rutas Aéreas	3	0	3
Aeropuertos y aeródromos	2	0	2
Terminal de buses	2	0	2
Puertos y caletas	3	2	1
Total	**125**	**18**	**107**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.3.4. Sistemas de Instalaciones de Redes Vitales.

En este sistema se ven afectadas aquellas instalaciones que se desarrollan en extensión, y que en algún tramo del trazado cruzan áreas susceptibles a remoción en masa, como es el caso de la red de alta tensión eléctrica y la línea de fibra óptica con, sin embargo al ir por el aire, la posibilidad de ser afectadas se debe a las torres o postes que la sustentan y que se apoyen en alguna ladera, en caso de que uno de estos puntos de apoyo colapse, es probable que corte estos cables interrumpiendo el flujo en toda la extensión. Aparte de eso se da el caso de un estanque de agua potable en la ciudad de Arica que se ubica en una ladera de pendiente fuerte y muy próximo a colegio y hospital.

Cuadro Nº30: Tabla Sistema de Redes Vitales expuesto a Remoción en Masa

Redes Vitales	N° de instalaciones	Amenaza Alta	Baja o Sin Amenaza
Subestaciones eléctricas	6	0	6
Transmisión energía eléctrica	4	3	1
Generación Eléctrica	2	0	2
Estanques de agua potable	14	1	13
Agua potable rural	26	0	26
Tratamiento de aguas servidas	13	0	13
Expendio de Combustibles	28	0	28
Nodo de fibra óptica	1	0	1
Líneas de Fibra óptica	1	1	0
Telefonía Fija	17	0	17
Telefonía Movil	31	0	31
Internet	31	0	31
Total Redes:	**174**	**5**	**169**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

Conclusión

Podemos señalar además que 23 de las 77 localidades pobladas identificadas en la Región de Arica y Parinacota, la mayoría son rurales y con escasa población, estas 23 están expuestas a la amenaza de deslizamientos y en menor grado a derrumbes, las que se ubican en fondos de valle asociadas a laderas o cumbres de fuertes pendientes, áreas que reúnen las condiciones necesarias para potenciar la ocurrencia de estos eventos, pues se caracterizan por encajonarse en laderas con pendientes superiores a 20°, tener cursos hídricos de régimen pluvial y depender de accesos viales escasos.

Figura N°61: Mapa Exposición Multi Sistemas a Amenaza Remoción en Masa; Región de Arica y Parinacota

EXPOSICION MULTI SISTEMAS ESTRATEGICOS A REMOCION EN MASA



XV REGION DE
ARICA Y PARINACOTA



Plan Regional de Ordenamiento Territorial
GOBIERNO REGIONAL DE ARICA Y PARINACOTA
División de Planificación y Desarrollo
Unidad de Ordenamiento Territorial
2012

Fuente: Elaboración propia, 2011

Catastro de Sistemas Estratégicos Expuestos a la Amenaza de Remoción en Masa

Cuadro Nº31: Tabla Exposición de Sistemas Estratégicos a Remoción en Masa

Instalaciones y Redes de todos los Sistemas Estratégicos	N° de instalaciones	Expuesto a Amenaza Alta	Sin o Baja Amenaza
Policía	27	0	27
Establecimientos educacionales	84	0	84
Establecimientos de Salud	14	0	14
Compañías de Bomberos	7	0	7
Edificios públicos	8	0	8
Embalses o represas	1	0	1
Sustancias peligrosas	3	1	2
Vertederos y basurales	4	0	4
Residuos peligrosos	4	0	4
Ductos de combustibles	3	1	2
Red vial regional	73	14	59
Calles vialidad estructurante	25	1	24
Vías férreas	2	1	1
Puentes	15	0	15
Rutas aéreas	3	0	3
Aeropuertos y aeródromos	2	0	2
Terminal de buses	2	0	2
Puertos y caletas	3	2	1
Subestaciones eléctricas	6	0	6
Transmisión energía eléctrica	4	3	1
Generación eléctrica	2	0	2
Estanques de agua potable	14	1	13
Agua potable rural	26	0	26
Tratamiento de aguas servidas	13	0	13
Expendio de combustibles	28	0	28
Nodo de fibra óptica	1	0	1
Líneas de Fibra óptica	1	1	0
Telefonía fija	17	0	17
Telefonía movil	31	0	31
Internet	31	0	31
Total Instalaciones Estratégicas:	**454**	**25**	**429**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.4 VULNERABILIDAD POR VOLCANISMO

Como se señaló en el apartado sobre Amenaza Volcánica, si bien en la región existen varios volcanes, solo cinco de ellos han sido clasificados como Activos por SERNAGEOMIN, y de estos cinco dos de ellos clasificados por la misma institución como de baja peligrosidad, dos con alta peligrosidad y uno con muy alta peligrosidad . Esta clasificación está directamente relacionada con la presencia de población y sistemas estratégicos ubicados dentro del área de influencia de los complejos volcánicos. Bajo esta clasificación, SERNAGEOMIN solo ha desarrollado estudios más detallados del que ha sido clasificado con muy alta peligrosidad, el cual es el complejo volcánico Taapaca o Nevados de Putre.

Para determinar el o los volcanes a considerar que constituyan un riesgo para la población y los sistemas estratégicos, se superpone la categorización de peligrosidad de los volcanes identificados como activos propuestos por Sernageomin en estudio preliminar en desarrollo (2012), con los centros poblados según el número de población y viviendas, que se encuentren ubicados en área proximal de lo complejos volcánicos y quedan expuestos a flujos de lavas, lahares y piroclastos.

Cuadro Nº32: Tabla de población asentada en el área de influencia de complejos volcánicos

Volcán	Nº Habitantes	Nº Viviendas
Tacora	47	23
Taapacá	**1241**	**322**
Parinacota	114	126
Guallatire	59	99
Arintica	Sin dato	Sin dato

Fuente: Elaboración propia en base a censo 2002, INE

En el cuadro precedente podemos observar que efectivamente el complejo volcánico Taapaca genera mayor cantidad de habitantes y viviendas vulnerables, siguiendo a continuación el complejo Parinacota, luego el Guallatire, siguiendo el Tacora y por último sin registro de datos el Arintica.

En la siguiente figura se observa los distintos grados y tipos de la amenaza volcánica del Taapacá en el caso de producirse actividad en dicho volcán.

Figura N°62: Amenaza Volcánica; Complejo Volcánico Taapaca



Fuente: Sernageomin (2007).

En las tablas presentadas a continuación, se desglosa el número de instalaciones expuestas y el porcentaje al que corresponde, por cada sistema estratégico.

4.4.1 Exposición de Sistema de Instalaciones Esenciales

Este sistema se compone por los edificios de policía, establecimientos educacionales, establecimientos de salud, compañías de bomberos y edificios públicos de gobierno. Dentro del sector delimitado como amenaza por actividad volcánica del volcán Taapaca, se encuentran expuestos, las instalaciones de policía, los establecimientos educacionales y los establecimientos de salud. En la tabla siguiente se puede observar el número de instalaciones expuestas y el porcentaje al que equivale dicha exposición, siendo los Establecimientos Educacionales por tener una mayor cobertura territorial y estar ubicados en localidades en las proximidades de los volcanes los que aparecen con mayor cantidad de unidades expuestas.

Cuadro Nº33: Tabla Sistema de Instalaciones Esenciales expuestas a Volcanismo

Instalaciones Esenciales	**N° de instalaciones**	**Expuestos**	**No Expuesto**
Policía	27	1	26
Establecimientos educacionales	84	5	79
Establecimientos de Salud	14	1	13
Compañías de Bomberos	7	0	7
Edificios públicos	8	2	6
Total sistema estratégico	**140**	**9**	**131**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.4.2 Exposición de Sistema de Instalaciones con Alto Potencial de Daño

La amenaza volcánica afecta solo dos instalaciones de este sistema, siendo un acopio de residuos peligrosos provenientes de actividad minera en la ladera occidental del Vocán Tacora y, por otra parte el oleoducto proveniente de Bolivia que cruza el área de influencia del mismo volcán. Los demás volcanes no tienen asociadas este tipo de instalaciones.

Cuadro Nº34: Tabla Sistema Instalaciones con Alto Potencial de Daño expuestas a Volcanismo

Instalaciones con alto Potencial Dañino	N° de instalaciones	Expuestos	No Expuesto
Embalses o represas	1	0	1
Sustancias peligrosas	3	0	3
Vertederos y basurales	4	0	4
Residuos Peligrosos	4	1	3
Ductos de Combustibles	3	1	2
Total Instalaciones:	**15**	**2**	**13**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.4.3. Exposición de Sistema de Redes de Transporte

Este sistema involucra a la infraestructura de conectividad vial y entre ellas se identifican los trazados de las redes viales regionales, calles estructurantes de la ciudad, vías férreas, puentes, aeropuertos y aeródromos, terminal de buses, puertos y caletas pesqueras. Para la amenaza volcánica, solo se ven comprometidas algunas instalaciones de red víal regional, las calles estructurantes de Putre, parte de la línea ferrea a Bolivia y la ruta aérea Arica La Paz (Bolivia), mientras que las instalaciones restantes, no se ven expuestas a esta amenaza.

Cuadro Nº35: Tabla Sistema de Redes de Transporte expuestas a Volcanismo

Redes de Transporte	N° de instalaciones	Expuestos	No Expuesto
Red vial regional	73	12	61
Calles vialidad estructurante	25	3	22
Vías Férreas	2	1	1
Puentes	15	0	15
Rutas Aéreas	3	1	2
Aeropuertos y aeródromos	2	0	2
Terminal de buses	2	0	2
Puertos y caletas	3	0	3
Total	**125**	**17**	**108**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.4.4. Exposición de Sistema de Redes Vitales

El sistema integra nueve instalaciones estratégicas, los estanques de agua potable, estanques de abastecimiento de agua potable rural, tratamiento de aguas servidas, subestaciones eléctricas, tendidos de transmisión eléctrica, generación eléctrica, expendio de combustibles, nodos y líneas de comunicación de fibra óptica. Para el caso de la amenaza volcánica producida por el Taapaca, solo están comprometidas una línea de transmisión eléctrica, algunas instalaciones de abastecimiento de agua potable rural y algunas instalaciones de tratamiento de aguas servidas totalizando 17 expuestas a la amenaza.

Cuadro Nº36: Tabla Sistema de Instalaciones de Redes Vitales expuestas a Volcanismo

Redes Vitales	N° de instalaciones	Expuestos	No Expuesto
Subestaciones eléctricas	6	0	6
Transmisión energía eléctrica	4	0	4
Generación Eléctrica	2	0	2
Estanques de agua potable	14	0	14
Agua potable rural	26	2	24
Tratamiento de aguas servidas	13	2	11
Expendio de Combustibles	28	0	28
Nodo de fibra óptica	1	0	1
Líneas de Fibra óptica	1	0	1
Telefonía Fija	17	2	15
Telefonía Movil	31	3	28
Internet	31	3	28
Total Redes:	**174**	**12**	**162**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

Conclusión

En el caso de Chile la densidad poblacional disminuye con la lejanía de la planicie litoral, siendo la Zona Cordillerana la menos poblada, en el caso de la región de Arica y Parinacota, la cual concentra el 97 % de la población en la ciudad costera de Arica, su restante 3% de sus habitantes se encuentran mayoritariamente en otras dos localidades al interior de la región, las cuales son Putre y Codpa, donde la primera, en caso de producirse una erupción del volcán Taapacá se encontrarían vulnerable al igual que el principal eje vial existente entre la ciudad de Arica y la ruta internacional que uné Arica con Bolivia y otros país interiores y de la costa oriental de Sud-América mediante corredor bi-oceánico, interrumpiendo su conectividad.

Identificados las localidades y sistemas estratégicos expuestos, gracias a la visualización de mapas, los que si bien dependen de un escenario eruptivo concreto, se pueden realizar generalizaciones o pronósticos razonables basados en la probabilidad de ocurrencia de una, a diferentes escalas contribuyen a la planificación del territorio previendo el asentamiento en áreas de alta y moderada peligrosidad, lo cual orientará dentro de la planificación territorial ya que mientras el peligro volcánico no puede reducirse, la vulnerabilidad sí se puede hacer mediante obras de mitigación, reducción a la exposición, etc.

Cabe destacar que a pesar de la exposición mínima que tienen los sistemas estratégicos ante la amenaza volcánica, es necesario señalar que la localidad de Putre se encuentra inmersa dentro del área de alto peligro por avalanchas volcánicas, lahares y/o flujos piroclásticos, lo que significa que ante una eventual actividad volcánica del Taapaca la población comprometida correspondería a 1.235 habitantes según el censo del año 2002. Existen además otras localidades ubicadas dentro del área de influencia de los volcanes activos de la región, las cuales son Chislluma, Tacora, Humapalca, Villa Industrial por el Volcán Tacora, Pacollo por el volcán Taapaca, Chucuyo y Parinacota por el Parinacota y Guallatire por el volcán homónimo.

De esta manera podemos concluir que la población de la localidad de Putre y sus sistemas estratégicos son más vulnerables a la amenaza volcánica, si la actividad se llegase a producir en época estival, eventualmente podría afectar a las localidades y sistemas estratégicos ubicados al oeste del complejo volcánico. En siguiente lugar el volcán Parinacota podría afectar el paso fronterizo con Bolivia ubicado en Chungará, también en todos los casos podría verse afectada las ruta aéreas desde y hacia Bolivia, los complejos volcánicos del sur de

la región generarían baja vulnerabilidad ya que la población y sistemas estratégicos próximos a ellos son muy escasos.

Catastro de Sistemas estratégicos expuesto a la amenaza Volcánica

En la siguiente tabla se indica el número de instalaciones expuestas por sistemas estratégicos y el porcentaje al que equivale dicha exposición respecto del total de los sistemas estratégicos identificados en la región.

Cuadro Nº37: Tabla Exposición de Sistemas Estratégicos a Volcanísmo

Instalaciones y Redes de todos los Sistemas Estratégicos	N° de instalaciones	Expuestos a Amenaza	No Expuesto a Amenaza
Policía	27	1	26
Establecimientos educacionales	84	5	79
Establecimientos de Salud	14	1	13
Compañías de Bomberos	7	0	7
Edificios públicos	8	2	6
Embalses o represas	1	0	1
Sustancias peligrosas	3	0	3
Vertederos y basurales	4	0	4
Residuos peligrosos	4	1	3
Ductos de combustibles	3	1	2
Red vial regional	73	12	61
Calles vialidad estructurante	25	3	22
Vías férreas	2	1	1
Puentes	15	0	15
Rutas aéreas	3	1	2
Aeropuertos y aeródromos	2	0	2
Terminal de buses	2	0	2
Puertos y caletas	3	0	3
Subestaciones eléctricas	6	0	6
Transmisión energía eléctrica	4	0	4
Generación eléctrica	2	0	2
Estanques de agua potable	14	0	14
Agua potable rural	26	2	24
Tratamiento de aguas servidas	13	2	11
Expendio de combustibles	28	0	28
Nodo de fibra óptica	1	0	1
Líneas de Fibra óptica	1	0	1
Telefonía fija	17	2	15
Telefonía movil	31	3	28
Internet	31	3	28
Total Instalaciones Estratégicas:	**454**	**40**	**414**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

De la tabla presentada es posible observar que solo 40 instalaciones del total de las instalaciones de los sistemas estratégicos de la región se ven expuestas a la amenaza por la actividad volcánica del Taapaca, siendo el sistema de redes de transporte el más expuesto, respecto del total de los sistemas restantes.

Figura N°63: Exposición por Amenaza Volcanismo; Región de Arica y Parinacota

EXPOSICION MULTI SISTEMAS ESTRATEGICOS A VOLCANISMO

Comuna Gral Lagos

BOLIVIA

PERU

Comuna Putre

Comuna Arica

Oceano Pacifico

Comuna Camarones

Region de Tarapacá

20 0 20 40 60 Kilometers



XV REGION DE ARICA Y PARINACOTA

Plan Regional de Ordenamiento Territorial
GOBIERNO REGIONAL DE ARICA Y PARINACOTA
División de Planificación y Desarrollo
Unidad de Ordenamiento Territorial
2012



Fuente: Elaboración propia en base a mapa preliminar en edición de Sernageomin, 2012

4.5 VULNERABILIDAD POR INUNDACION FLUVIAL

La amenaza por Inundación será revisada solamente por la causa fluvial, en el presente estudio no se considerará la inundación pluvial, por cuanto las zonas planas o de escasa pendiente afectas a lluvia, son escasas y no están asociadas a centros poblados.

Consiguientemente lo señalado en el acápite sobre la amenaza por Inundación Fluvial, y lo determinado en la cartografía de pendientes de los cauces de ríos, en la cual se definió las zonas de los causes de menor pendiente, susceptibles de sufrir inundación, se confrontó con la ubicación de los sistemas estratégicos, los cuales a continuación se presentan en las tablas que indican las cantidades que se encuentra expuestos y el mapa correspondiente:

4.5.1 Exposición de Sistema de Instalaciones Esenciales.

Cuadro Nº38: Tabla Sistema de Instalaciones Esenciales expuestas a Inundación Fluvial

Instalaciones Esenciales	N° de instalaciones	Expuestos	No Expuesto
Policía	27	0	27
Establecimientos educacionales	84	0	84
Establecimientos de Salud	14	0	14
Compañías de Bomberos	7	0	7
Edificios públicos	8	0	8
Total sistema estratégico	**140**	**0**	**140**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.5.2 Exposición de Sistema con Alto Potencial de Daño.

La amenaza de inundación fluvial afecta solamente una de las Instalaciones con Alto potencial de Daño, siendo el embalse de Caritaya por estar instalado en cauce de río.

Las demás instalaciones se ubican fuera de las áreas de influencia de los ríos, por lo cual podemos decir que este sistema es muy levemente vulnerable a la amenaza de Inundación fluvial.

CuadroNº39: Tabla Sistema con Alto Potencial de Daño expuestas a Inundación Fluvial

Instalaciones con alto Potencial Dañino	N° de instalaciones	Expuestos	No Expuesto
Embalses o represas	1	1	0
Sustancias peligrosas	3	0	3
Vertederos y basurales	4	0	4
Residuos Peligrosos	4	0	4
Ductos de Combustibles	3	0	3
Total Instalaciones:	**15**	**1**	**14**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.5.3 Exposición de Sistema de Redes de Transporte.

El sistema de redes de Transporte se ve afectado por la amenaza de Inundación Fluvial en gran parte por los puentes por estar instalados sobre cursos fluviales están expuestos a las crecidas de cuadal, y a su vez la vialidad urbana en que se insertan puentes son las que se ven afectadas, en el caso de las vías férreas estas también se ven afectadas en sus tramos puente.

Cuadro Nº40: Tabla Sistema de Redes de Transporte expuestas a Inundación Fluvial

Redes de Transporte	N° de instalaciones	Expuestos	No Expuesto
Red vial regional	73	16	57
Calles vialidad estructurante	25	5	20
Vías Férreas	2	2	0
Puentes	15	15	0
Rutas Aéreas	3	0	3
Aeropuertos y aeródromos	2	0	2
Terminal de buses	2	0	2
Puertos y caletas	3	0	3
Total	**125**	**38**	**87**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

4.5.4. Sistemas de Instalaciones de Redes Vitales.

Se puede apreciar que las Redes Vitales tienen un muy bajo nivel de vulnerabilidad, ya que la mayoría de las instalaciones se ubican fuera de los cauces de ríos, siendo solamente las dos líneas alimentadoras del SING provenientes desde el sur las que, eventualmente en alguno de sus postes de soporte ubicados en proximidad a cauces, los que se podrían ver afectados y de esta forma quedar reducido el suministro eléctrico hasta aproximadamente un 90%, ya que la región produce escasa energía.

Cuadro Nº41: Tabla Sistema de Instalaciones de Redes Vitales expuestas a Inundación Fluvial

Redes Vitales	N° de instalaciones	Expuestos	No Expuesto
Subestaciones eléctricas	6	0	6
Transmisión energía eléctrica	4	2	2
Generación Eléctrica	2	0	2
Estanques de agua potable	14	0	14
Agua potable rural	26	0	26
Tratamiento de aguas servidas	13	0	13
Expendio de Combustibles	28	0	28
Nodo de fibra óptica	1	0	1
Líneas de Fibra óptica	1	0	1
Telefonía Fija	17	0	17
Telefonía Movil	31	0	31
Internet	31	0	31
Total Redes:	**174**	**2**	**172**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

Figura N°64: Mapa Exposición Multi Sistemas a Amenaza Volcanismo; Región de Arica y Parinacota

Exposición Multi Sistemas Estratégicos a Inundación Fluvial

Simbología

PERU

BOLIVIA

Comuna Gral Lagos

Comuna Putre

Comuna Arica

Comuna Camarones

Oceano Pacifico

Region de Tarapacá

20 0 20 40 60 Kilometers



XV REGION
ARICA Y PARINACOTA
Plan Regional de Ordenamiento Territorial
GOBIERNO REGIONAL DE ARICA Y PARINACOTA
División de Planificación y Desarrollo
Unidad De Ordenamiento Territorial
2012



Fuente: Elaboración propia 2011.

Catastro de Sistemas estratégicos expuesto a la amenaza por Inundación Fluvial

Del total de los sistemas de Instalaciones Esenciales, ninguna de los 135 instalaciones se ve afectada por inundación fluvial, mientras que los sistemas de Instalaciones con Alto potencial de Daño presentan 3 de las 17 instalaciones que se afecta por este fenómeno. El sistema de las Redes de Transporte tiene 40 de las 127 expuestas a la amenaza. De las 178

instalaciones de los sistemas de Redes Vitales 2 de ellas se encuentra bajo la amenaza por inundación fluvial.

Respecto a los puntos críticos identificados durante el año 2011, se ha establecido la mayoría de ellos fueron afectados por aumento de caudal, por efecto de las lluvias estivales. De los puntos críticos históricos, cabe señalar, que la situación es similar a la ocurrida durante el año 2011, ya que los puntos críticos identificados en su mayoría también corresponden al aumento del caudal.

Cuadro Nº42: Tabla Exposición de Sistemas Estratégicos a Inundación Fluvial

Instalaciones y Redes de todos los Sistemas Estratégicos	N° de instalaciones	Expuestos a Amenaza	No Expuesto a Amenaza
Policía	27	0	27
Establecimientos educacionales	84	0	84
Establecimientos de Salud	14	0	14
Compañías de Bomberos	7	0	7
Edificios públicos	8	0	8
Embalses o represas	1	1	0
Sustancias peligrosas	3	0	3
Vertederos y basurales	4	0	4
Residuos peligrosos	4	0	4
Ductos de combustibles	3	0	3
Red vial regional	73	16	57
Calles vialidad estructurante	25	5	20
Vías férreas	2	2	0
Puentes	15	15	0
Rutas aéreas	3	0	3
Aeropuertos y aeródromos	2	0	2
Terminal de buses	2	0	2
Puertos y caletas	3	0	3
Subestaciones eléctricas	6	0	6
Transmisión energía eléctrica	4	2	2
Generación eléctrica	2	0	2
Estanques de agua potable	14	0	14
Agua potable rural	26	0	26
Tratamiento de aguas servidas	13	0	13
Expendio de combustibles	28	0	28
Nodo de fibra óptica	1	0	1
Líneas de Fibra óptica	1	0	1
Telefonía fija	17	0	17
Telefonía movil	31	0	31
Internet	31	0	31
Total Instalaciones Estratégicas:	**454**	**41**	**413**

Fuente: Elaboración propia, 2011.

Conclusión:

Las inundaciones no solo generan problemas y dificultades en las personas, sino que también en el medio ambiente, ya que estas traen consigo un fuerte impacto en los suelos, los que siempre son erosionados, en mayor o menor medida. El efecto erosivo que generan las inundaciones fluviales en los suelos de la región de Arica y Parinacota son significativos, debido a la escases de vegetación que presenta el territorio regional; la vegetación ante una inundación, cumple un rol fundamental, debido a que no solamente impide el impacto directo de las lluvias sobre el terreno, sino que también permite una mayor infiltración, dificulta el avance del agua hacia los ríos y disminuye el transporte de residuos sólidos, los que posteriormente afectan los cauces y estos a su vez pueden afectar los puentes y badenes de la vialidad, áreas de cultivo en nuestra región.

Si bien los factores que influyen o que contribuyen a una inundación fluvial, son observables, la situación no es fácil de controlar, sobre todo cuando en las riberas de los ríos hay presencia humana en labores agrícolas, estos grupos en su intento de aprovechar al máximo los recursos naturales provocan situaciones que pueden aumentar el peligro, por lo que es necesario que en términos de planificación territorial a menor escala, se diferencien las áreas susceptibles de ser afectadas por inundaciones fluviales.

En la región hay presencia de centros poblados próximos a las riberas sin embargo todos se encuentran emplazados sobre mesetas con una mayor altitud que los cauces, por lo que no se verían afectados directamente por los aumentos de caudal, salvo en algunos casos que su accesibilidad por camino de acceso puede ser interrumpida temporalmente por inundación de la vía.

4.6 CONCLUSIÓN GENERAL

En gran medida debido a que la región solo cuenta con una ciudad, ubicada en el borde costero, en la cual se concentra la mayoría de las instalaciones y redes de los sistemas estratégicos, habiendo realizado las exposiciones de los cuatro sistemas estratégicos ante las cinco amenazas establecidas en el marco metodológico, se ha podido establecer que la amenaza mayor la constituye el Sismo, ya que afecta todos los sistemas pero en mayor grado los que se encuentran en la zona occidental de la región, debido a la concentración de instalaciones y a la mayor demanda sísmica, lo sigue la amenaza de Tsunami también por afectar el borde costero donde se emplaza la ciudad de Arica con la mayoría de los sistemas estratégicos pero con bastante menor incidencia por cuanto a diferencia del sismo no afecta todo el territorio, limitándose a una acotada superficie. Es importante destacar que la amenaza de Inundación Fluvial afecta considerablemente al Sistema de Transporte, sin embargo no afecta las Instalaciones Esenciales. Algo similar sucede con la amenaza de Remoción en Masa, que tampoco afecta al sistema de Instalaciones Esenciales, siendo el sistema que más se afecta el de Redes de Transporte. La amenaza de Volcanismo, se asemeja a la de Tsunami en el sentido de que es mas focalizada, en las zonas altas ubicadas en la zona oriente de la región, afecta todos los sistemas pero en bajo incidencia siendo el de Transporte el que tiene mayor vulnerabilidad.

Como se puede desprender del análisis, el Sistema de Transporte, al estar emplazado cubriendo grandes extensiones del territorio, se ve afectado por todas las amenazas. Es el más afectado por las amenazas de Remoción en Masa, Volcanismo e Inundación Fluvial.

Podemos también observar que el sistema estratégico Instalaciones Esenciales solo lo afectan tres amenazas naturales, Sismo, Tsunami y Volcanismo.

Dada la escala de análisis de este estudio, se hace recomendable desarrollar a un nivel de mayor detalle estudios para centros poblados con mayor población y aquellos que cumplan funciones estratégicas, entre los cuales se encuentran Arica, Putre, Visviri, Cuya, San Miguel, Poconchile y Codpa.

5. ANEXOS

5.1 Glosario de términos hídricos:

Acuífero: Formación geológica permeable por la que circula o puede circular agua.

Avenida o Crecida: Elevaciones de los niveles de agua, que supera el flujo medio de un río.

Caudal básico: Es un determinado caudal de inundación asociado a una frecuencia determinada usado para elaborar regulaciones. Algunos países han adoptado la "crecida de 100 años o centenaria» como el caudal básico para indicar el nivel mínimo de inundación que deberá ser utilizado por una comunidad en sus regulaciones de control de manejo de las áreas de inundación.

Crecida centenaria (recurrencia 100 años): Término usualmente utilizado para referirse al uno por ciento anual de posibilidades de inundación. Las inundaciones provocadas por dichos eventos son aquellas que resultan igualadas o excedidas, en promedio, una vez en 100 años. El término no debe tomarse literalmente ya que, por ser eventos naturales, no hay garantía de que este tipo de inundaciones ocurra una o más veces dentro del período de 100 años.

Crecida extraordinaria: Estas crecidas se interpretan como caso fortuito que eventualmente afecta las riberas de un río, y ocurre cuando es superado el nivel del agua de un río o arroyo correspondiente a la crecida máxima anual media.

Lecho o fondo de río: Terreno cubierto por las aguas, cuando los ríos que lo alimentan alcanzan sus máximas crecidas ordinarias.

Lecho o fondo de lago o laguna: Terreno ocupado por sus aguas, cuando alcanzan su mayor nivel ordinario, correspondiente a las máximas crecidas ordinarias de los ríos que lo alimentan.

Red de drenaje: La red de drenaje es la encargada de canalizar las aportaciones de las escorrentías a los colectores y de organizar los flujos de los cauces desde su cabecera hasta su desembocadura. Para ello se construyen grandes obras estructurales como por ejemplo los embalses de regulación de las cuencas que sirven, entre otras razones, para contrarrestar las avenidas y evitar los desbordamientos de los ríos.

Aluvión: Los aluviones son ríos de rocas, tierra y otros elementos saturados de agua. Se desarrollan cuando el agua se acumula rápidamente en el suelo, a raíz de lluvia intensa o deshielos rápidos, convirtiendo el terreno en un río de barro. El barro puede fluir rápidamente por una ladera o quebradas y ataca con poco o sin aviso, a gran velocidad.

Licuefacción: Consiste en el hundimiento súbito del suelo o pérdida de su solidez por causa del aumento de la presión del agua contenida en el suelo. al suceder la vibración sísmica, lo que puede ser catastrófico.

Inundación: Sumergimiento temporal de terrenos normalmente secos, como consecuencia de la aportación inusual y/o repentina de una cantidad de agua superior a la que es habitual en una zona determinada.

Llanura de inundación: Inundación periódica de las zonas planas aledañas a los ríos de manera natural.

Inundaciones torrenciales, repentinas: Se caracterizan porque el nivel del agua sube y baja con rapidez. Obedecen generalmente a una lluvia torrencial sobre un área relativamente pequeña.

Inundación o crecida ordinaria: Para ríos se la considera hasta donde llegan las más altas aguas en estado normal. Existe consenso entre muchos especialistas para que esta definición, bastante ambigua, sea modificada por la de “hasta donde llega el agua superficial durante la crecida máxima anual media”. Es el límite normal del dominio público.

Inundaciones costeras: Las zonas costeras se inundan a veces durante la pleamar a causa de mareas inusualmente altas motivadas por fuertes vientos en la superficie oceánica, o por maremotos ocasionados por terremotos en las placas del fondo oceánico.

Inundaciones fluviales: Son por lo general, consecuencia de una lluvia intensa, a la que en ocasiones se suma la nieve del deshielo, con lo que los ríos se desbordan. Las inundaciones fluviales se pueden clasificar según su duración y origen:

Según su Duración:

Inundación dinámica o rápida: Este tipo de inundaciones se producen en ríos cuyas cuencas presentan fuertes pendientes, producto de las lluvias intensas. Las crecidas de los ríos son repentinas y de corta duración. Estas inundaciones generan grandes daños en la población e infraestructura, debido a que el tiempo de reacción es casi nulo.

Inundación estática o lenta: Este tipo de inundación se genera producto de lluvias persistentes y generalizadas, causando un aumento paulatino del caudal y por ende inundando áreas planas, conocidas como llanuras de inundación.

Según su Origen:

Inundación Pluvial: Las inundaciones pluviales se generan por la acumulación de agua en una determinada área geográfica. Estas inundaciones pueden estar dadas por la concentración de aguas lluvias en un periodo de tiempo breve o por precipitaciones moderadas y persistentes durante un amplio periodo de tiempo, sobre un suelo poco permeable.

Inundaciones Fluviales: Este tipo de inundación es atribuida al aumento brusco del volumen de agua que el lecho del río es capaz de transportar. Las inundaciones fluviales generalmente son la consecuencia del exceso de lluvias, las que provocan el desborde de los ríos y/o arroyos.

Inundación por operaciones incorrectas de obras de infraestructura hidráulica o rotura: Este tipo de inundación puede generarse por roturas de represas o embalses, generando graves daños a la población, a la infraestructura y al medioambiente. También se pueden generar inundaciones de este tipo, por la obstrucción de los cauces, ya sean naturales o artificiales, debido a la acumulación de troncos y sedimentos, aunque cabe destacar que en ocasiones, los puentes, también contribuyen a los desbordes e inundaciones, ya que retienen los elementos flotantes que arrastra el río, obstaculizando el paso del agua, y por ende, agravan el problema.

5.2 Escalas de Sismos

Escala modificada Mercalli de intensidades de Sismos.

La escala de Mercalli toma su nombre del físico italiano Guiseppe Mercalli (1850 - 1914), quien la desarrolló en el siglo XIX. Es una escala subjetiva, porque evalúa la percepción humana del sismo. Sirve para recolectar información en zonas donde no existen aparatos detectores, o instrumentos de medición. Se basa en lo que sintieron las personas que vivieron el sismo, o en los daños ocasionados. Cuando se utiliza esta escala, se habla de grados de intensidad.

Cuadro Nº43: Escala Mercali de Intensidad de sismos

Grado	Descripción
I	No se advierte sino por unas pocas personas y en condiciones de perceptibilidad especialmente favorables.
II	Se percibe sólo por algunas personas en reposo, particularmente las ubicadas en los pisos superiores de los edificios.
III	Se percibe en los interiores de los edificios y casas. Sin embargo, muchas personas no distinguen claramente que la naturaleza del fenómeno es sísmica, por su semejanza con la vibración producida por el paso de un vehículo liviano. Es posible estimar la duración del sismo.
IV	Los objetos colgantes oscilan visiblemente. Muchas personas lo notan en el interior de los edificios aún durante el día. En el exterior, la percepción no es tan general. Se dejan oir las vibraciones de la vajilla, puertas y ventanas. Se sienten crujir algunos tabiques de madera. La sensación percibida es semejante a la que produciría el paso de un vehículo pesado. Los automóviles detenidos se mecen.
V	La mayoría de las personas lo percibe aún en el exterior. En los interiores, durante la noche, muchas despiertan. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y aún pueden derramarse. Los objetos inestables se mueven o se vuelcan. Los péndulos de los relojes alteran su ritmo o se detienen. Es posible estimar la dirección principal del movimiento sísmico.
VI	Lo perciben todas las personas. Se atemorizan y huyen hacia el exterior. Se siente inseguridad para caminar. Se quiebran los vidrios de las ventanas, la vajilla y los objetos frágiles. Los juguetes, libros y otros objetos caen de los armarios. Los cuadros suspendidos de las murallas caen. Los muebles se desplazan o se vuelcan. Se producen grietas en algunos estucos. Se hace visible el movimiento de los árboles, o bien, se les oye crujir. Se siente el tañido de las campanas pequeñas de iglesias y escuelas.
VII	Los objetos colgantes se estremecen. Se experimenta dificultad para mantenerse en pie. El fenómeno es percibido por los conductores de automóviles en marcha. Se producen daños de consideración en estructuras de albañilería mal construidas o mal proyectadas. Sufren daños menores (grietas) las estructuras corrientes de albañilería bien construidas. Se dañan los muebles. Caen trozos de estucos, ladrillos, parapetos, cornisas y diversos elementos arquitectónicos. Las chimeneas débiles se quiebran al nivel de la techumbre. Se producen ondas en los lagos; el agua se enturbia. Los terraplenes y taludes de arena o grava experimentan pequeños deslizamientos o hundimientos. Se dañan los canales de hormigón para regadío. Tañen todas las campanas.
VIII	Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos. Se producen daños de consideración y aún el derrumbe parcial en estructuras de albañilería bien construidas. En estructuras de albañilería bien proyectadas y construidas sólo se producen daños leves. Caen murallas de albañilería. Caen chimeneas en casa e industrias; caen igualmente monumentos, columnas, torres y estanques elevados. Las casas de madera se desplazan y aún se salen totalmente de sus bases. Los tabiques se desprenden. Se quiebran las ramas de los árboles. Se producen cambios en las corrientes de agua y en la temperatura de vertientes y pozos. Aparecen grietas en el suelo húmedo, especialmente en la superficie de las pendientes escarpadas.
IX	Se produce pánico general. Las estructuras de albañilería mal proyectadas o mal construidas se destruyen. Las estructuras de albañilería bien construidas se dañan y a veces se derrumban

	totalmente. Las estructuras de albañilería bien proyectadas y bien construidas se dañan seriamente. Los cimientos se dañan. Las estructuras de madera son removidas de sus cimientos. Sufren daños considerables los depósitos de agua, gas, etc. Se quiebran las tuberías (cañerías) subterráneas. Aparecen grietas aún en suelos secos. En las regiones aluviales, pequeñas cantidades de lodo y arena son expelidas del suelo.
X	Se destruye gran parte de las estructuras de albañilería de toda especie. Se destruyen los cimientos de las estructuras de madera. Algunas estructuras de madera bien construidas, incluso puentes, se destruyen. Se producen daños en represas, diques y malecones. Se producen grandes desplazamientos del terreno en los taludes. El agua de canales, ríos, lagos, etc. sale proyectada a las riberas. Cantidades apreciables de lodo y arena se desplazan horizontalmente sobre las playas y terrenos planos. Los rieles de las vías férreas quedan ligeramente deformados.
XI	Muy pocas estructuras de albañilerías quedan en pie. Los rieles de las vías férreas quedan fuertemente deformados. Las tuberías (cañerías subterráneas) quedan totalmente fuera de servicio.
XII	El daño es casi total. Se desplazan grandes masas de roca. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados.

Fuente: http://www.shoa.cl/servicios/tsunami/escalas.htm

Escala Richter de Magnitud de sismos

La escala de Richter fue creada en 1935 por Charles Francis Richter, sismólogo nacido en 1900. Richter y Beno Gutenberg querían desarrollar una manera cuantitativa de comparar terremotos, que no dependiera de la localización del observador. Decidieron "tomar prestada" la idea de magnitud de los astrónomos, quienes la usaban para clasificar la brillantez de las estrellas, y extrapolarla a los fenómenos terrestres. A diferencia de la escala de Mercalli, la de Richter mide la fuerza de los terremotos de acuerdo a su magnitud, es decir, la cantidad de energía liberada durante el sismo. Esta medición se realiza utilizando los datos que entregan los sismógrafos, que registran las ondas sísmicas. Por lo mismo, no tiene un límite de grados. Hasta el momento, la mayor magnitud registrada en el mundo corresponde a 9,5 grados, para el terremoto que ocurrió en Valdivia, Chile, en 1960. Esta es una escala que utiliza datos científicos y no percepciones de la gente. Podemos determinar algunos “posibles efectos” esperados de acuerdo a la magnitud registrada, estos posibles efectos dependerán de la profundidad, de las características del suelo, la dirección de propagación de las ondas.

Cuadro Nº44: Escala Richter de Magnitud de sismos.

Magnitud	Efectos posibles del Terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado.
3.5 a 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores.
5.5 a 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios.
6.1 a 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas donde vive mucha gente.
7.0 a 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños.
8.0 o superior	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

5.3 Terminología Volcánica

Avalancha Volcánica, Lahares, flujos Piroclásticos:
Los piroclastos son fragmentos expulsados por las explosiones, que tienen tamaños variables desde finísimas partículas (<0,001 mm) hasta bombas o bloques de unos 5 m de diámetro. La nomenclatura empleada según su tamaño es ceniza (<0,001-2 mm), lapilli (2 - 64 mm) y bombas o bloques (>64 mm). Todas las bombas son del magma en erupción, es decir son de material juvenil. Cuando este material fresco es poroso y de composición basáltica se le denomina escoria y cuando es silíceo se le llama pómez.
Escoria:
Generalmente, los bloques son fragmentos angulosos de rocas, arrastrados desde las paredes del conducto eruptivo, < 60% de sílice y densidad > 1 g/cm3; pómez: > 60% de sílice y densidad < 1 g/cm3.

Flujo de Lava o Emplazamiento de Domos:
Las lavas son muy variadas en morfología, rasgos superficiales, extensión y volumen, dependiendo fundamentalmente del grado de viscosidad, o sea, del contenido de sílice. En efecto, las lavas basálticas (muy fluidas) pueden alcanzar longitudes de 30 km, espesores menores que 10 m, cubrir cientos de km2 y tener superficies lisas (tipo pahoehoe) o ásperas (tipo aa). Al contrario, las lavas dacíticas o riolíticas (muy viscosas) no superan los 10 km de longitud, los espesores pueden superar los 100 m, cubren pocos km2 y sus superficies son de bloques rocosos y filosos de hasta varios metros de diámetro.

Procesos Volcánicos Directos:
Corrientes de lavas
Los efectos de las lavas dependerán de la movilidad (velocidad), tasa de emisión, volumen, pendientes, morfología del entorno, etc. Las temperaturas oscilan entre 1.300 y 900ºC. Las mayores velocidades registradas en lavas basálticas de volcanes de escudo han alcanzado unos 70 km/h, aunque son casos muy raros. Lo más frecuente en Chile, son velocidades medias entre 10 y 1km/h hasta 1km/día. Una superficie cubierta por lavas queda inutilizable por siglos.
Eyección de piroclastos
Las partículas mayores (bombas y bloques), algunas de varias toneladas, son arrojadas según una trayectoria balística y caen dentro del área más próxima al volcán. Por otra parte, el material más fino (cenizas y lapillis) forma una columna (junto con los gases), la cual puede alcanzar decenas de kilómetros de altura. Esta es dispersada por la acción eólica, generando una pluma cuya propagación dependerá tanto de la dirección de los vientos predominantes, como de la velocidad de los mismos. Por otra parte, cabe señalar que las erupciones plinianas, por lo general, inyectan material particulado fino en la estratosfera (aerosoles). Areas de centenares a miles de kilómetros cuadrados con espesores muy variables, pueden ser ubiertas por depósitos de piroclastos de caída. Su impacto inicial es desastroso, sin embargo y dependiendo de la composición del material como de las condiciones climáticas, en menos de un año pueden tornarse en suelos fértiles.
Emisión de gases
La actividad volcánica, tanto fumarólica como eruptiva, arroja volúmenes variables de diferentes compuestos gaseosos. La composición y volumen de los gases volcánicos emitidos durante una erupción, tiene gran relevancia por su efecto directo sobre la salud humana, animal, vegetal y sobre el ecosistema en general. Entre los más tóxicos se pueden mencionar el CO, CO2, SO2, H2S, HCl y HF. En cuencas cerradas y poco ventiladas, al pie de volcanes activos, se pueden producir concentraciones peligrosas de gases tóxicos, las cuales pueden llegar a ser letales.
Flujos de piroclastos

Son verdaderos huracanes incandescentes (a veces denominados "nubes ardientes"), compuestos por gases y fragmentos de rocas. A menudo, se producen por el colapso gravitacional de una columna eruptiva debido a su alta densidad y se distribuyen generalmente en forma radial. Sus velocidades oscilan entre los 100 y 500 km/h, con temperaturas mínimas de 400ºC; por lo tanto, son capaces de carbonizar o calcinar toda la materia orgánica que encuentre a su paso. También tienen la capacidad de remontar y sobrepasar altos topográficos. Sus volúmenes varían entre unos $10^5 m^3$ y 500 km^3. Es el peor peligro volcánico conocido por su violencia, alta temperatura y alcance (Vesubio 79 D.C.: Pompeya y Herculano; Krakatoa 1883; Mt. Pelee 1902: St. Pierre; Katmai 1912; Santa Helena 1980; El Chichón 1982).

Sismicidad

Muchas erupciones son precedidas y acompañadas por sismos de diversas magnitudes e intensidades. En ocasiones, pueden ocurrir hasta 100 sismos diarios con intensidades de III a V, los cuales son locales, pero pueden ser muy destructivos y violentos (generalmente no afectan un área de un radio mayor que 50 km).

Avalanchas volcánicas

Durante algunas erupciones volcánicas de gran magnitud, se pueden producir derrumbes de las cimas y/o flancos de los volcanes, particularmente en aquellos que presentan grandes fracturas o fisuras, como otras condiciones de inestabilidad. Estos deslizamientos de escombros pueden ser fríos o calientes y tener dimensiones muy diversas, desde $10^5 m^3$ hasta $10^{10} m^3$ (Ejemplos: Socompa, Planchón, Antuco, Calbuco, etc.)

Procesos Volcánicos Indirectos (se mencionan aquellos posibles en la región)**:**

Corrientes laháricas.

Son aluviones de origen volcánico, formados por agua como componente principal de transporte y fragmentos de rocas, cenizas, hielo, etc., originados en las pendientes de los volcanes. Las propiedades físicas de un lahar son controladas por la razón entre las partículas (granos) y su contenido de agua. Longitudinalmente tienen una forma de "ballena", con una cabeza u ola frontal de hasta unos 20 m de altura, cuerpo y cola. Las velocidades medias con las que avanza un lahar varían de 20 a 80 km/h y el depósito que deja a su paso, es de aproximadamente, un quinto de la altura de la ola. En el caso de Chile, la mayoría de los lahares históricos se han producido por la fusión repentina de la cubierta de hielo y nieve debido al contacto con flujos de lavas y flujos de piroclásticos de escaso volumen. en consecuencia, es muy importante la fecha en que tenga lugar una erupción; es decir, si ésta ocurre a fines del invierno o a fines del verano. Los volúmenes de nieve y de los lahares resultantes pueden ser decisivos en la magnitud de los eventuales daños.

Crecidas.

En ocasiones, el aumento del flujo calórico puede provocar deshielos fuera de época. Por ejemplo, incrementos de la actividad fumarólica, erupciones menores de piroclastos o erupciones de lava con bajas tasas de emisión, no son capaces de generar lahares pero pueden producir crecidas, con la consecuente inundación de los terrenos aterrazados bajos.

Avalanchas de hielo y nieve.

Tanto el aumento del flujo calórico como la sismicidad volcánica, pueden provocar avalanchas de hielo y nieve, particularmente en los volcanes cubiertos por glaciares y nieve temporal que presentan laderas escarpadas en sectores de sus cimasy flancos inestables.

Deslizamientos.

La eventual actividad sísmica durante una erupción, puede provocar deslizamientos en lugares geológicamente inestables en torno al volcán, en escombreras activas, en las laderas escarpadas del edificio volcánico, etc.

Obstrucción de valles y cursos fluviales.

Las corrientes de lava y las avalanchas volcánicas, entre otros productos, son capaces de bloquear valles y cauces fluviales, provocando embalses naturales. Estos pueden dar lugar a aluviones, debido al rompimiento repentino de la barrera.

Tormentas eléctricas

Es común que durante erupciones explosivas, dentro de los hongos de cenizas se produzcan tormentas eléctricas debido a la carga provocada por el roce de las partículas al ser expulsadas violentamente (ej. volcán Hudson, 1991). Este fenómeno puede producir interferencias radiales y telefónicas e incendios forestales.

Lluvias ácidas.

Desde los hongos eruptivos o desde las plumas, se pueden generar lluvias ácidas por la condensación del vapor de agua y su reacción con otros compuestos gaseosos como el SO_2. Además, lluvias meteorológicas pueden cruzar los hongos o las plumas y concentrar cenizas y componentes ácidos. Las lluvias ácidas son, en extremo corrosivas y atacan específicamente a la biósfera y a los materiales metálicos (p.ej. techumbres de zinc, maquinarias, alambradas, etc.). Además, alteran drásticamente las aguas superficiales y la composición de los suelos.

Alteraciones de aguas superficiales, de suelos y vegetación.

Los gases volcánicos solubles en agua, mezclados con detritos o directamente, pueden alterar significativamente las condiciones de las aguas corrientes, lagos, suelos, glaciares, nieve y vegetación. En la erupción de 1992 del volcán Copahue, los lahares que escurrieron hacia el río Lomín hicieron descender el pH de sus aguas hasta un valor de 4 a 5, produciendo la mortandad de miles de peces. Durante la erupción del volcán Lonquimay (1988-90), la lava "exprimió" un terreno pantanoso (mallín), liberando miles de metros cúbicos de aguas putrefactas a 71ºC hacia el río Lolco, tributario del Biobío.

6. BIBLIOGRAFÍA

ABELE, GERHARD. (1981) Zonificación altitudinal morfológica e hígrica de la vertiente andina occidental en la región limítrofe chileno-peruana, Revista de Geografía Norte Grande, n°8: 3 - 25, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.

AMIGO, A.; BERTIN, D.; OROZCO, G. 2012. Peligros Volcánicos de la zona norte de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental, No., p., 5 mapas escala 1:250.000, Santiago.

ARAYA – VERGARA, J.F. & BORGEL 1972. "Definición de Parámetros para Establecer un Banco Nacional de Riesgos y Amenazas Naturales. Criterios para su Diseño". ONEMI/PNUD Uchile/92/009/A. Chile.

ARIAS, E., 1998. "Distribución de esfuerzos a lo largo de la placa de Nazca en subducción, del área de ruptura del terremoto de 1977 en el extremo norte de Chile, durante el año 1997". Seminario para optar al título de profesor de educación media en física y ciencias naturales. Universidad de Tarapacá, Arica.

COMTE, D., EISENBERG, A., PARDO, M., 1988. Sismicidad y riesgo sísmico en el margen occidental de Sudamérica, entre los 16° - 22° latitud sur. En: Universidad de Chile, Actas del V Congreso Geológico Chileno, tomo II, Santiago: F227-F246.

COMTE, D., EISENBERG, A., PARDO, M., 1989. Análisis cuantitativo e los grandes terremotos del norte de Chile y sur de Perú; estimación del peligro sísmico. En: Universidad de Chile, Actas de las 5as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Santiago: 279-289.

GONZÁLEZ, E., 1998. Estudio del sismo de Arica del 8 de agosto de 1987. Tesis para optar al título de ingeniero civil. Universidad de Chile, Santiago.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS INIA (1989), Mapa Agroclimático de Chile, Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile

KEEFER, D., 1984. Landslides caused by earhquakes. En: Geological Society of América, Vol. 95, Denver: 406-421.

LEYTON, FELIPE. "Desarrollo de plataforma de amenaza sísmica para el norte de Chile y propuesta de actualización de normas de diseño sismo-resistente: Análisis de los efectos del terremoto del Maule 2010 y caracterización de terremotos tipo en el segmento Taltal-Arica",

MONGE, J., 1992. Tsunami risk in the city of Arica, Chile. En: Earthquake Engineering: Tenth World Conference. Rotterdam: 461-466.

TAPIA, A., 2000. Seguimiento espacio-temporal de la sismicidad en la zona de la cobertura de RESISTE-ARICA, entre los años 1995-1997. Seminario para optar al título de profesor de educación media en física y ciencias naturales. Universidad de Tarapacá, Arica.

YOUNG, A., 1972. Slopes. Ed. Longman, New York.

INDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

MAPAS ESCALA 1:250.000

- Multi Sistemas Estratégicos
- Multi Amenazas Naturales
- Exposición Multi sistemas Estratégicos a Amenaza Sísmica
- Exposición Multi Sistemas Estratégicos a Amenaza de Tsunami
- Exposición Multi Sistemas Estratégicos a Amenaza Remoción en Masa
- Exposición Multi Sistemas Estratégicos a Amenaza Volcánica
- Exposición Multi Sistemas Estratégicos a Amenaza Inundación Fluvial